



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO-UFRPE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA – PGEA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – DEAGRI

**STATUS HÍDRICO, TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA
CLOROFILA EM SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* L. Moench)
IRRIGADO COM ÁGUA SALINA**

DANILO RODRIGUES MONTEIRO

RECIFE

2016

DANILO RODRIGUES MONTEIRO

**STATUS HÍDRICO, TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA
CLOROFILA EM SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* L. Moench)
IRRIGADO COM ÁGUA SALINA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador:

Prof. Edivan Rodrigues de Souza

Co-Orientador:

Prof. Ênio Farias de França e Silva

RECIFE

Julho de 2016

M775s

Monteiro, Danilo Rodrigues

Status hídrico, trocas gasosas e fluorescência da clorofila em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) irrigado com água salina / Danilo Rodrigues Monteiro. – Recife, 2016.

93 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, 2016.

Inclui referências.

1. Potencial hídrico 2. Poaceae 3. Salinidade I. Souza, Edivan Rodrigues de, orientador II. Título

CDD 631

DANILO RODRIGUES MONTEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

STATUS HÍDRICO, TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA EM SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* L. Moench) IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

COMISSÃO AVALIADORA

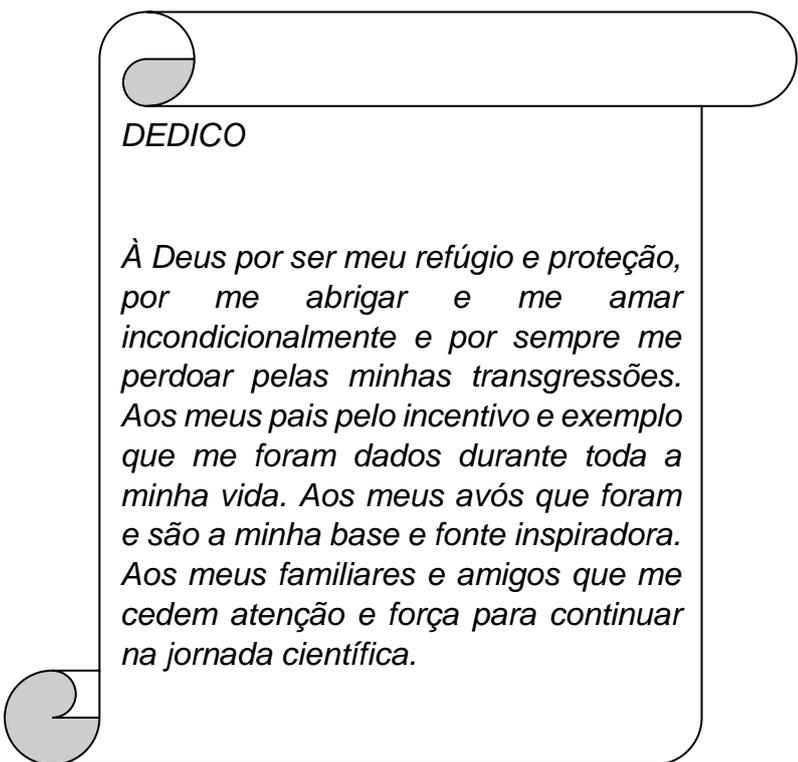
Orientador: Prof. Dr^o. Edivan Rodrigues de Souza,
(DEPA/UFRPE)

Examinadores:

Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Cavalcanti Barros
(DEPA – UFRPE)

Dr^o José Nildo Tabosa
(IPA – PE)

Prof^a Dr^a Thais Emanuelle Monteiro dos Santos
(CCB – UFPE)

A decorative scroll graphic with a black outline and rounded corners. The top and bottom edges are slightly curved. There are two grey circular elements on the left side, one at the top and one at the bottom, which appear to be the ends of the scroll's binding or the start of a page fold.

DEDICO

À Deus por ser meu refúgio e proteção, por me abrigar e me amar incondicionalmente e por sempre me perdoar pelas minhas transgressões. Aos meus pais pelo incentivo e exemplo que me foram dados durante toda a minha vida. Aos meus avós que foram e são a minha base e fonte inspiradora. Aos meus familiares e amigos que me cedem atenção e força para continuar na jornada científica.

AGRADECIMENTOS

À Deus, entrego a minha gratidão por me fortalecer durante toda a minha vida. A Ele seja dada a honra e a glória.

Aos meus pais, João Monteiro Filho e Jalbanete Rodrigues, por serem tão presentes e dedicados. Queria expressar a tamanha gratidão que tenho a vocês, mas palavras não são suficientes. A vocês entrego, não apenas o meu agradecimento, mas também todo o meu amor.

Aos meus avós, Antônio Rodrigues (*in memoriam*), João Monteiro (*in memoriam*), Áurea Farias e Maria das Dores, por todo o exemplo de perseverança e amor.

Aos meus primos-irmãos, Stephany Rodrigues, Priscila Rodrigues, Vinicius Rodrigues e Nicholas Rafael, por representarem o meu melhor.

Aos meus familiares, por me ensinar sempre a insistir e perseverar em meus objetivos.

Ao meu grande amigo e irmão, Nathan Cirino, que me suportou e teve paciência na divisão do apartamento, durante esses dois anos. Obrigado por tudo mesmo.

Aos meus amigos campinenses (aqui representado por alguns nomes pois seria difícil listar todos) Priscilla Medeiros, Fabricia Moura, João Neto, Caio Braga, por tudo que vocês representam para mim.

Aos meus amigos recifenses e baianos, Marcela Costa, Cintia Lins, Hidelblandi Farias, Hugo Bentzen, Pablo Dourado, Aglair Cardoso, Edivan Uchoa, Martha Katharinne, Mirella Nóbrega, Lucas Yago, Venâncio Veloso, por todo o apoio durante a minha pesquisa e por fazer de uma equipe de trabalho uma verdadeira família.

À Maria Sallydelândia e Vera Lúcia Antunes, que me orientaram durante a minha graduação, me propiciando desenvolver o prazer pela vida acadêmica.

Aos meus amigos da UFCG, Tainara Tâmara, Michelle Firmino, Geraldo Filho, Silvana Medeiros, Joelma Santos, Riuzuani Lopes, Leda Verônica, obrigado por estarem perto apesar da distância.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e Pós-graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal de Pernambuco, pelo suporte de pesquisa e disponibilidade no acesso ao conhecimento.

Ao meu orientador, Edivan Rodrigues de Souza, por tantos ensinamentos dados a mim durante esses dois anos. Sua disponibilidade e dedicação a pesquisa e ao ensino são exemplos que guardo comigo.

Aos meus colegas da UFRPE, por tantos momentos importantes que passamos nesses anos.

A CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação, forma pela qual consegui desempenhar as minhas atividades acadêmicas sem maiores interferências.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1:** Localização onde será conduzido o experimento (maps.google.com)..... 12
- Figura 2:** Divisão da planta de Sorgo com destaque para o local onde foi retirado o material vegetal para as análises de potencial hídrico na planta..... 17
- Figura 3:** Médias da umidade gravimétrica do Neosolo Flúvico e seu respectivo desvio padrão, no momento da avaliação do potencial hídrico na madrugada (predawn), aos 60 DAS. Os vasos foram mantidos a 80% da capacidade de campo..... 21
- Figura 4:** Altura da planta de Sorgo sacarino submetida a estresse salino, aos 60 DAS. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 21
- Figura 5:** Potencial mátrico em solo irrigado com água de diferentes composições iônicas, cloreto de sódio e mistura de sais, durante a madrugada. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 22
- Figura 6:** Potencial osmótico em solo irrigado com soluções salinas de diferentes composições iônicas, Cloreto de Sódio e Mistura de sais, aos 60 DAS 22
- Figura 7:** Potencial hídrico em solo irrigado com soluções salinas de diferentes composições iônicas, Cloreto de Sódio e Mistura de sais, aos 60 DAS 23
- Figura 8:** Potencial Hídrico em plantas de sorgo em dois horários, predawn (A) e meio-dia (B), em função da condutividade elétrica das soluções utilizadas na irrigação, aos 60 DAS. 24
- Figura 9:** Potencial Osmótico em plantas de sorgo, durante o predawn (A) e meio-dia (B), em função da condutividade elétrica das soluções utilizadas na irrigação, aos 60 DAS. 25
- Figura 10:** Relação temperatura do ar e umidade relativa, em ambiente protegido, durante a condução do experimento..... 26
- Figura 11:** Potencial de água na atmosfera, durante a aquisição de dados para determinação do potencial hídrico em plantas de Sorgo sacarino. (A) Potencial de água na atmosfera na madrugada (predawn); (B) Potencial de água na atmosfera ao meio – dia..... 27
- Figura 12:** Teor relativo de água (TRA) em plantas de sorgo sacarino em diferentes horários, madrugada (A) e meio-dia (B) submetidas a irrigação com soluções salinas, aos 60 DAS. - Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. 27
- Figura 13:** Diferença entre o potencial hídrico em Neossolo Flúvico e plantas de Sorgo sacarino, e seu respectivo desvio padrão, durante a madrugada, aos 60 DAS..... 30

CAPÍTULO 2

- Figura 1:** Localização onde será conduzido o experimento (maps.google.com)..... 44
- Figura 2:** Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo Analyzer LICOR XT6400). (Fonte: <https://www.licor.com>) 49
- Figura 3:** Câmara de efluxo de CO₂ (Modelo 6400-09). (Fonte: <https://www.licor.com>). 49
- Figura 4:** Condutância estomática de plantas de Sorgo sacarino submetidos a irrigação com águas de condutividades elétricas crescentes aos 60 DAS..... 51
- Figura 5:** Fotossíntese em plantas de Sorgo sacarino submetidas a irrigação com águas de diferentes composições iônicas, aos 60 DAS..... 52

Figura 6: Transpiração em plantas de Sorgo sacarino submetidos a irrigação com água salina aos 60 DAS.	53
Figura 7: Eficiência no uso da água (EUA) em plantas de Sorgo sacarino submetidas a estresse salino, aos 60 DAS:	54
Figura 8: Eficiência de Carboxilação de Plantas de sorgo sacarino submetidas a estresse abiótico, aos 60 DAS. Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.	55
Figura 9: Efluxo de gás carbônico do solo cultivado com plantas de sorgo sacarino e submetido a irrigação com soluções salinas de diferentes composições iônicas, aos 63 DAS.	56
Figura 10: Respirometria da biomassa microbiana em Neossolo Flúvico cultivado com Sorgo Sacarino e submetidos a irrigação com soluções de diferentes composições iônicas, aos 63 DAS.....	

CAPÍTULO 3

Figura 1: Localização onde será conduzido o experimento (maps.google.com).....	69
Figura 2: Relação entre os teores de clorofila a e clorofila b, em folhas de sorgo sacarino irrigado com soluções salinas com níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) aos 60 DAS. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.	79
Figura 3: Fluorescência inicial em plantas de sorgo submetidas a estresse salino aos 60 DAS.	80
Figura 4: Fluorescência variável de plantas de sorgo sacarino sob condições de estresse salino aos 60 DAS.	81
Figura 5: Fluorescência máxima (Fm) em plantas de sorgo sacarino sob condições de estresse salino aos 60 DAS.	81
Figura 6: Eficiência quântica do fotossistema 2 (PSII) aos 60 DAS, em plantas de sorgo sacarino submetidas a irrigação com águas de diferentes composições iônicas.	82
Figura 7: Fluxo de elétrons por centro de reação em plantas de sorgo sacarino submetidos a irrigação com soluções salinas aos 60 DAS.	83
Figura 8: Energia dissipada por centro de reação em planta de sorgo sacarino ao 60 DAS irrigadas com soluções salinas com diferentes níveis de condutividade elétrica.	84
Figura 9: Rendimento quântico para dissipação de calor em plantas de sorgo sacarino aos 60 DAS irrigadas com soluções salinas com crescentes níveis condutividade elétrica. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.	85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Caracterização inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.....	13
Tabela 2: Caracterização química do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento do vaso do experimento conduzido em ambiente protegido.	14
Tabela 3: Caracterização da água de poço artesiano, localizado na cidade de Pesqueira em Pernambuco, base para a preparação da solução de mistura de sais utilizada na irrigação das plantas de Sorgo Sacarino em ambiente protegido.	15
Tabela 4: Quantidade de sais necessária para a formulação das soluções salinas, com propósito de obter as condutividades elétricas dos tratamentos.	16
Tabela 5: Suculência Foliar e Área Foliar Específica em plantas de Sorgo Sacarino submetidas a irrigação com águas de diferentes composições iônicas, durante o meio-dia e madrugada, aos 60 DAS.	29

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Caracterização inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.....	45
Tabela 2: Caracterização química do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento do vaso do experimento conduzido em ambiente protegido.	46
Tabela 3: Caracterização da água de poço artesiano, localizado na cidade de Pesqueira em Pernambuco, base para a preparação da solução de mistura de sais utilizada na irrigação das plantas de Sorgo Sacarino em ambiente protegido.	47
Tabela 4: Quantidade de sais necessária para a formulação das soluções salinas, com propósito de obter as condutividades elétricas dos tratamentos.....	48

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Caracterização inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.....	70
Tabela 2: Caracterização química do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento do vaso do experimento conduzido em ambiente protegido.	71
Tabela 3: Caracterização da água de poço artesiano, localizado na cidade de Pesqueira em Pernambuco, base para a preparação da solução de mistura de sais utilizada na irrigação das plantas de Sorgo Sacarino em ambiente protegido.	72
Tabela 4: Quantidade de sais necessária para a formulação das soluções salinas, com propósito de obter as condutividades elétricas dos tratamentos.	73
Tabela 5: Resumo dos parâmetros, fórmulas e sua descrição com dados extraídos de fluorescência da clorofila (STRASSER e STRASSER, 1995).	74
Tabela 6: Teores foliares de clorofila a, b e carotenóides, em sorgo sacarino irrigado com soluções salinas com níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) aos 60 dias após a semeadura (DAS).....	77

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	1
GENERAL ABSTRACT.....	3
INTRODUÇÃO GERAL.....	3

CAPÍTULO 1 - Status hídrico no solo e Sorgho sacarino (*Sorghum Bicolor L. Moech*) irrigado com água salina de diferentes composições iônicas..... 6

INTRODUÇÃO	8
1. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
1.1. Caracterização do experimento.....	12
1.2. Coleta, preparo e caracterização do solo	12
1.3. Cultivar utilizada no experimento	14
1.4. Manejo da irrigação das plantas.....	15
1.5. Confeção das águas para irrigação	15
1.6. Parâmetros avaliados.....	16
1.6.1. Determinação do status hídrico das plantas	16
1.6.2. Determinação do status hídrico no solo	19
1.6.3. Potencial na Atmosfera (Ψ_{atm})	20
1.7. Delineamento experimental.....	20
2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3. CONCLUSÕES.....	32

CAPÍTULO 2 - Trocas gasosas em Sorgho sacarino (*Sorghum Bicolor L. Moech*) E efluxo de CO₂ em solo irrigado com água salina 40

INTRODUÇÃO	42
1. MATERIAL E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido.
1.1. Caracterização do experimento.....	Erro! Indicador não definido.
1.2. Coleta, preparo e caracterização do solo	Erro! Indicador não definido.
1.3. Cultivar utilizada no experimento	Erro! Indicador não definido.
1.4. Manejo da irrigação das plantas.....	Erro! Indicador não definido.
1.5. Confeção das águas para irrigação	Erro! Indicador não definido.
1.6. Parâmetros avaliados.....	49
1.6.1. Determinação das trocas gasosas em plantas de Sorgho Sacarino (<i>Sorghum bicolor L. Moech</i>).....	49
1.6.2. Efluxo de CO ₂	50
1.6.3. Respirometria da biomassa microbiana do solo.....	51
1.7. Delineamento experimental.....	52

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3. CONCLUSÕES.....	60

CAPÍTULO 3 - Fluorescência da clorofila a e pigmentos fotossintéticos em Sorgo sacarino irrigado com água salina 67

INTRODUÇÃO.....	69
1. MATERIAL E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido.
1.1. Caracterização do experimento.....	Erro! Indicador não definido.
1.2. Coleta, preparo e caracterização do solo.....	Erro! Indicador não definido.
1.2.1. Caracterização inicial do solo.....	Erro! Indicador não definido.
1.3. Cultivar utilizada no experimento.....	Erro! Indicador não definido.
1.4. Manejo da irrigação das plantas.....	Erro! Indicador não definido.
1.5. Confeção das águas para irrigação.....	Erro! Indicador não definido.
1.6. Parâmetros avaliados.....	76
1.6.1. Fluorescência transiente da clorofila a.....	76
1.6.2. Extração dos pigmentos fotossintéticos.....	77
1.7. Delineamento experimental.....	78
2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
3. CONCLUSÕES.....	89

RESUMO GERAL

Solos afetados por sais é uma problemática comum em diversas áreas produtoras de alimentos do mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Assim, a avaliação da resposta morfofisiológica de plantas e alterações em solos, irrigados com soluções salinas apresenta relevância em regiões semiáridas. Partindo desse pressuposto o presente estudo apresentou como objetivo avaliar o comportamento morfofisiológico do Sorgo sacarino irrigado com níveis crescentes de condutividade elétrica. O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, durante o período de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016. O solo utilizado no preenchimento dos vasos de 8L foi proveniente da localidade de Pesqueira-PE, cultivado com sorgo sacarino, cultivar IPA 2502. A irrigação foi realizada com duas fontes de sais (NaCl e Mistura de Sais) ambas com seis níveis correspondentes de condutividade elétrica (0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, perfazendo um fatorial de 6 x 2 com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Aos 60 dias após a semeadura (DAS) foram determinados o status hídrico do solo e das plantas, em dois horários, madrugada (02:00hs às 04:00hs) e meio-dia (12:00hs às 14:00hs). Para as plantas, as folhas do terço-médio foram coletadas e determinados o potencial hídrico (Ψ_w) com auxílio da Câmara de Scholander; o potencial osmótico (Ψ_o); o teor relativo de água (TRA). Aos 60 DAS foram avaliadas as trocas gasosas no sorgo, medindo-se a condutância estomática, fotossíntese, eficiência do uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (E_{ic}); e a fluorescência da clorofila *a*, que por ocasião foi coletado material foliar para determinação dos pigmentos fotossintetizantes. O efluxo de CO₂ e a respiração da biomassa microbiana foram realizados ao 63º DAS, com o advento da coleta das plantas. Os potenciais, tanto no sorgo sacarino quanto no solo, apresentaram decréscimo com a elevação da CE das fontes de água de irrigação. O TRA e a área foliar, também reduziram com o aumento do nível de salinidade, diferentemente da suculência foliar que houve incremento com o aumento da salinidade em relação a testemunha. A severidade do estresse salino sobre as plantas de sorgo afetou negativamente os parâmetros de trocas gasosas. A salinidade também apresentou interferência no efluxo de CO₂ e a respirometria da biomassa, reduzindo-as. Os pigmentos fotossintéticos foram afetados pela salinidade, reduzindo os teores de clorofila *a* e *b*, e aumentando os teores de carotenoides como forma de proteção contra o estresse da planta. A emissão da fluorescência da clorofila *a* foi observado interferência negativa, apontando para possível alteração nas membranas dos tilacóides.

Palavras-chave: Potencial Hídrico, Poaceae, Salinidade.

GENERAL ABSTRACT

Soils affected by salts are a common problem to several food-producing regions of the world, especially in arid and semiarid regions. So a morphophysiological response of plants and changes in soils irrigated with salt solutions is truly important. In that way the present study presented as a goal to evaluate the morpho-physiological behavior of irrigated sorghum with salt solutions with increasing levels of electrical conductivity. The experiment was carried out during the period of December 2015 to February 2016, in a greenhouse at the Rural Federal University of Pernambuco, Recife city, northeast, Brazil. The soil used to fill the pots with capacity of 8L was taken from the locality of semiarid of the Pernambuco state, city of Pesqueira, and cultivated with sorghum cultivar IPA 2502. The soil was maintained at 80% of field capacity, and irrigation was performed with two salt sources (NaCl and Salt Mixture) with both six levels of electric conductivity (0, 2.5, 5, 7.5, 10 e12,5 dS m⁻¹). The experimental design was a randomized block, making a factor of 6 x 2 with 4 replications, totaling 48 experimental units. At 60 days after sowing (DAS) were determined the hydric status of the soil and plants in two hours, morning and noon. For plants, the third-medium leaves were collected and determined the water potential (Ψ_w) using the Scholander Chamber; the osmotic potential (Ψ_o); water relative content (WRC). At 60 DAS gas exchanges were evaluated in sorghum, estimating the stomatal conductance, photosynthesis, water use efficiency (WUE) and instantaneous carboxylation efficiency (ICE); and chlorophyll *a* fluorescence, which was collected for the determination of photosynthetic pigments from leaf material. The CO₂ efflux and microbial biomass were performed after 63 DAS, with the advent of collection of plants. The potential, both from sorghum and the soil, showed a decrease with increasing EC of irrigation water sources. The leaf area and the WRC also decreased with increasing salinity level, unlike the leaf juiciness that demonstrated an increase with increased saltiness compared to the control. The severity of salt stress on the sorghum plants negatively affected the gas exchange parameters. Salinity also showed interference in CO₂ efflux and respirometry biomass, reducing them. Photosynthetic pigments were affected by salinity, reducing the levels of chlorophyll *a* and *b*, and increasing carotenoid levels as protection against stress of the plant. To the emission of fluorescence of chlorophyll *a* was observed a negative interference, pointing to possible changes in the membranes of thylakoids.

Key-words: Leaf water potential, Poaceae, Salinity.

INTRODUÇÃO GERAL

A salinidade é um processo de origem antrópica ou natural que assola diversas regiões ao redor do mundo. A irrigação com águas com elevado teor de sais, manejo agrícola inadequado, solos com problemas de drenagem, intrusões salinas, entre outros fatores auxiliam na velocidade com que esse processo acontece.

Com o aumento populacional, a demanda por alimentos se eleva, fazendo com que a área voltada para produção agrícola seja ampliada. Porém, a necessidade de ampliação da fronteira agrícola encontra com o fato de diversas regiões com potencial produtivo estarem em processo de salinização ou já salinizadas.

O excesso de sais em solução, como o Na^+ , tanto no solo quanto na água, desencadeia nas plantas diversas alterações morfofisiológicas. Além dessas mudanças, esses íons diminuem o potencial hídrico do solo dificultando a absorção de água pelas plantas.

Como o potencial hídrico das plantas é maior que no solo, a absorção de água e nutrientes ocorre sem nenhum empecilho. Porém com o excesso de sais no solo, o potencial com que a água está retida no solo se eleva, provocando o aumento da pressão osmótica, desencadeando um fenômeno denominado de seca fisiológica. Dessa forma, para que as plantas continuem a absorção de água e nutrientes do solo, é necessário que ela se utilize de mecanismos, como o acúmulo de osmólitos ou compartimentalização de íons em vacúolos celulares.

Os pigmentos fotossintéticos e o desenvolvimento celular são os primeiros a serem afetados pelo estresse salino. Além disso com as alterações da morfologia celular, a salinidade afeta diretamente a condutância estomática e modulação da perda de água.

Em condições estressantes, principalmente em salinidade elevada, a clorofilase apresenta relação com a degradação dos pigmentos fotossintéticos. É importante lembrar que a clorofila é o principal pigmento responsável pela transformação da energia luminosa em energia química na forma de trifosfato de adenosina (ATP) e nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH).

Com a ampliação da severidade do estresse salino, as plantas reduzem a condutividade estomática, que resultam na estimulação de espécies reativas de oxigênio (ERO's) acelerando o processo de degradação dos pigmentos fotossintéticos. Como forma de responder aos danos provocados pela salinidade, as plantas desenvolvem sistemas antioxidantes, percebido principalmente com o aumento de partícula menores como os carotenoides.

Alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos provocam mudanças características dos sinais de fluorescência, sendo quantificados a partir da folha das plantas, isto é, para se entender melhor a proporção dos danos causado no fotossistema II (PSII) um importante parâmetro é a fluorescência da clorofila *a*. Consiste em um método *in vivo* não-destrutivo.

Partindo dessa interferência nos parâmetros morfofisiológicos e anatômicos das plantas pela salinidade, se faz necessário o uso de culturas que apresentem respostas satisfatórias a ambientes em condições limítrofes, principalmente em solos afetados por sais.

Uma cultura que se destaca pela sua moderada tolerância a salinidade é o sorgo. A resistência a salinidade pode ser atribuída a mecanismos de controle, como o aumento da eficiência da água e manutenção na síntese e proteção de pigmentos como as clorofilas. A eficiência do uso da água e dos nutrientes do solo, permite que o sorgo seja produzido em regiões que para outras culturas seria inviável.

Pela ampla abrangência do uso do sorgo pela agricultura e indústria, estudos que envolvam sorgo se fazem necessários. Principalmente envolvendo situações estressantes, como no caso do estresse salino.

Com isso o presente estudo teve como objetivo investigar o status hídrico do solo e em plantas de Sorgo sacarino (*Sorghum Bicolor* L. Moench), cultivar IPA 2502, além do seu comportamento morfo-fisiológico quando submetidos a irrigação com soluções salina com níveis crescentes de condutividade elétrica.

Para que se possa contribuir de forma científica no acúmulo dos conhecimentos e enriquecimento da literatura sobre o Sorgo sacarino

submetidos a estresse abiótico a presente dissertação fragmenta-se em três capítulos, cujo os títulos são apresentados a seguir:

Capítulo 1 - Status hídrico no solo e na planta de Sorgo sacarino (*Sorghum Bicolor* L. Moech) irrigado com água salina de diferentes composições iônicas;

Capítulo 2 – Trocas gasosas em Sorgo sacarino (*Sorghum Bicolor* L. Moech) e efluxo de CO₂ em solo irrigado com água salina;

Capítulo 3 - Fluorescência da clorofila *a* e pigmentos fotossintéticos em Sorgo sacarino irrigado com água salina.

.

CAPÍTULO 1

STATUS HÍDRICO NO SOLO E NA PLANTA DE SORGO SACARINO (*Sorghum Bicolor* L. Moench) IRRIGADO COM ÁGUA SALINA DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES IÔNICAS.

MONTEIRO, Danilo R.

RESUMO

O estudo do estado energético da água no *continuum* solo-planta é de suma importância para avaliar os efeitos dos estresses abióticos. Dessa forma, esse trabalho objetivou avaliar o status hídrico em solo e em plantas de Sorgo sacarino irrigado com água salina de diferentes composições iônicas. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco por um período de 63 dias (dezembro de 2015 a fevereiro de 2016). Os vasos (8L) foram preenchidos com solo proveniente da localidade de Pesqueira – PE, e cultivados com plantas de sorgo sacarino, cultivar IPA 2502. O solo foi mantido a 80% da capacidade de campo, e a irrigação foi realizada com duas fontes de água (NaCl e Mistura de Sais) ambas com seis níveis de condutividade elétrica (0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, perfazendo um fatorial de 6 x 2 com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Aos 60 dias após a semeadura (DAS) foram determinados o potencial hídrico foliar com a Câmara de Scholander e o potencial osmótico com o auxílio do osmômetro de pressão de vapor, além do teor relativo de água. O potencial osmótico do solo foi determinado por meio da pasta de saturação, no início e no final do experimento. O potencial mátrico foi estimado a partir da Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS). Tanto em solo quanto em Sorgo sacarino observou-se decréscimo nos potenciais com o aumento da condutividade elétrica. O potencial total do solo decresceu com a elevação dos níveis de sais. Na planta, o potencial hídrico foi de -0,875 MPa (predawn) e -2,213 MPa (meio-dia). O teor relativo de água na planta (TRA) e a área foliar específica apresentaram decréscimo com a elevação do nível de condutividade elétrica. Já para a suculência foliar, com o aumento da salinidade, observou-se incremento. Não observou equilíbrio entre os potenciais do solo e da planta na madrugada.

Palavras-chave: Relações Hídricas, Predawn, Salinidade.

CHAPTER 1

WATER STATUS IN SOIL AND SORGHUM SACCHARINE (*Sorghum bicolor* L. *Moech*) IRRIGATED WITH SALINE WATER WITH DIFFERENT IONIC COMPOSITIONS .

MONTEIRO, Danilo R.

SUMMARY

The study of the energy state of water in the soil-plant continuum is of paramount importance to assess the effects of abiotic stresses. Thus, this study aimed to evaluate the water status in Fluvisol and irrigated sorghum plants with saline water of different ionic compositions. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal Rural University of Pernambuco for a period of 65 days. The pots were filled with soil from locality of semiarid of the Pernambuco state, city of Pesqueira, and cultivated with plants of sorghum cultivar IPA 2502. The soil was maintained at 80% of field capacity, and irrigation was performed with two salt sources (NaCl and Salt Mixture) with both six levels of electric conductivity (0, 2.5, 5, 7.5, 10 e12,5 dS m⁻¹). The experimental design was a randomized block, making a factor of 6 x 2 with 4 replications, totaling 48 experimental units. At 60 days after sowing (DAS) were determined the leaf water potential with the Chamber of Scholander and osmotic potential with the aid of vapor pressure osmometer, plus the relative water content. The osmotic potential of the soil was determined by means of saturation folder at the beginning and end of the experiment. The matric potential was estimated from the Curve of Water Retention Feature in the Ground (CWRFG). Both in soil and in sorghum it was observed a decrease in potential with increasing electrical conductivity. The total soil potential decreased with increasing levels of salts. In the plant, the water potential was -0.875 MPa (predawn) and -2.213 MPa (noon). The TRA and specific leaf area showed a decrease with increasing level of electrical conductivity. For the leaf juiciness, with increasing salinity, showed an increase. Not observed balance between the ground potential and the plant in the dawn.

Keywords: Water Relations, Predawn, Salinity.

INTRODUÇÃO

Estima-se que em 2050 a população mundial alcançará 9 bilhões de habitantes, sendo necessário o aumento da produção agrícola devido a demanda por alimentos (FAO, 2013). Porém essa elevação potencial da produção pode ser afetada por entraves de ordem ambiental. As mudanças climáticas, a degradação dos solos e a diminuição da qualidade da água afetam diretamente a produção agrícola (IPCC, 2014). Isso ocorre, pois, o suprimento de água e nutrientes para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera.

Dentre os estresses abióticos mais severos está a salinidade do solo, que pode ter origem natural ou antrópica e resulta no acúmulo de sais solúveis e Na^+ trocável no solo, provocando alterações desfavoráveis nos atributos físico-químicos do solo (RIBEIRO, 2010).

A relação drenagem e formação geológica está diretamente ligada a gênese do solo salino, sendo por vezes confundida a origem da problemática da salinidade com a formação do solo (PEDROTTI et al., 2015). Segundo Richads (1954) o intemperismo dos minerais primários ao liberar os sais solúveis que constituem a rocha, originam o solo salino. Porém, para que as plantas sofram a interferência se faz necessário que os cátions sejam carregados pela água e se concentrem nos diferentes horizontes do solo. Dessa forma a equação formada pelos fatores edafo-climáticos e de manejo de solo são o que corroboram para o excesso de sais na solução do solo (MUNNS, 2005; PEDROTTI et al., 2015).

Torna-se difícil uma definição universal dos níveis de salinidade que atendam as mais diversas situações agrônômicas no mundo. Segundo estimativa da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2000), 9.500.000 km² de solos estão afetados pela salinidade, distribuídos principalmente em países da Austrália, Ásia, África e América do Sul.

Para Shrivastava e Kumar (2015) as áreas salinizadas vem aumentando a uma taxa de 10% a cada ano. Essa velocidade está atribuída a diversas razões, destacando-se: intemperismo de rochas; intrusões salinas; uso intensivo de fertilizantes ou corretivos agrícolas em condições limitadas de lixiviação, contaminação do solo com águas residuais ou produtos salinos; deposição de

sais provenientes da água de irrigação com baixa qualidade; elevação dos sais a superfície, em virtude da ascensão do lençol freático.

No Brasil, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) publicou em 1981 a distribuição de solos salinos e sódicos no Brasil. Observou-se que as regiões Nordeste, Centro-Oeste (Pantanal Mato-Grossense) e Sul (Rio Grande do Sul), apresentaram solos afetados por sais.

Da mesma forma que o solo sofre com os efeitos deletérios dos sais, as plantas também são atingidas pelos seus reflexos. Em condições normais, na ausência de salinidade, o potencial de água no solo é maior que o potencial de água na planta, o que favorece a absorção de água por diferença de potencial. Essa situação não ocorre em solos salinizados, já que o potencial total da água é bastante influenciado pelo potencial osmótico, o que, muitas vezes, dependendo do nível salino, acontece redução ou paralisação da absorção de água (DIAS & BLANCO, 2010; PEDROTTI, 2015; DUARTE & SOUZA, 2016).

Além do efeito sobre a absorção de água é comum encontrar problemas de toxicidade e, ou, desequilíbrios nutricionais (CAVALCANTE et al., 2010). A redução na absorção de nutrientes essenciais provocado pela competição na absorção e transporte geram problemas estruturais nas membranas celulares e inibição da atividade enzimática do metabolismo (WILLADINO & CAMARA, 2010; ARAGÃO et al., 2010). A magnitude dos danos causados nas plantas está correlacionada com os fatores tempo, concentração iônica, tolerância da cultura e volume de água transpirado (SOUSA et al., 2011).

Em estudos com variedades de sorgo, Netondo et al. (2004) observaram que a concentração de sais reduz o potencial hídrico das plantas e o potencial osmótico. O fato de haver a diminuição de turgor, deve-se, principalmente, ao fato da redução da disponibilidade de água para as células (MUNNS, 2002).

O estresse salino sujeita as plantas ao desenvolvimento de mecanismos alternativos de tolerância e mudanças morfo-fisiológicas (DICKSON, 2000). Essa aclimação aos processos estressantes é determinada, muitas das vezes, pelas múltiplas vias bioquímicas visando a preservação das funções fotossintéticas e conservação da homeostase iônica, modificando principalmente o status hídrico

das folhas, que por sua vez é reduzido e provoca o fechamento estomático e posterior morte do vegetal por dessecação (SCALON et al, 2011).

Dentre essas plantas que desenvolvem mecanismos adaptativos ao status hídrico deficitário encontra-se o Sorgo (*Sorghum bicolor ssp. bicolor*). Essa planta pertencente à família *Poaceae*, provavelmente teve origem na África. O dado mais antigo sobre a cultura do sorgo advém de uma escultura assíria do ano 700 a.C. Porém a sua domesticação, segundo registros arqueológicos, data por volta de 3000 a.C., à medida que a prática da domesticação de outros cereais era introduzida no Egito (OLIVEIRA, 2014).

Atualmente, cerca de 20 países possuem área de cultivo de sorgo superior a 500 mil hectares, correspondendo a 70% da produção de sorgo no mundo (FAO, 2016). O maior produtor mundial é o Estados Unidos, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos a produção na safra 2014/2015 foi de aproximadamente 10 mil toneladas (USDA, 2016). O Brasil apresentou, para este mesmo período, uma produção de 1,912 mil toneladas (CONAB, 2015). Segundo a EMBRAPA (1988), as maiores regiões produtoras de sorgo no mundo possuem uma precipitação anual que não ultrapassa 1000 mm.

Quando comparada ao milho, o sorgo requer uma menor quantidade de água para produção de biomassa; o sorgo exige cerca de 330 L de água para gerar 1 kg de matéria seca (MAGALHÃES et al., 2014). Além disso, a cultura do sorgo suporta temperaturas mais elevadas sendo mais sensível em baixas temperaturas. Apesar da tolerância a temperaturas acima de 40°C, as produtividades mais elevadas se encontram na faixa de temperatura entre 25°C e 30°C.

A eficiência no uso da água e dos nutrientes do solo, permite que essa gramínea seja cultivada em locais onde a produção de outros cereais seria antieconômica. Esse fato o coloca em posição de destaque, vislumbrando a redução de custos com matéria prima para a indústria de produtos manufaturados. Dessa forma estudos são necessários para entender melhor o comportamento das plantas de Sorgo quando submetidos a estresses.

Além disso, os estresses abióticos provocam desequilíbrio nas interações do *continuum* solo-planta, necessitando a sua quantificação. Visto que há teorias que postulam sobre a existência do equilíbrio entre os potenciais hídricos no solo e nas plantas durante a madrugada (DONOVAN et al., 2003).

Assim o presente trabalho tem como objetivo investigar os potenciais de água no solo e em sorgo cultivado em Neossolo Flúvico e irrigado com água de concentrações salinas crescentes e composições iônicas diferenciadas. Além disso, pretende-se aferir a hipótese de equilíbrio dos potenciais do solo e da planta na condição antes do amanhecer.

1. MATERIAL E MÉTODOS

1.1. Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (Figura 1) na Universidade Federal Rural de Pernambuco, campus Recife – PE ($8^{\circ}04'03''$ de latitude sul, $34^{\circ}55'00''$ de longitude oeste e altitude de 4 m), no período de 20 de dezembro de 2015 a 21 de fevereiro de 2016, totalizando 63 dias. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen adaptada ao Brasil (ALVARES, 2013), é do tipo 'AM'. A temperatura média anual é de $25,5^{\circ}\text{C}$, podendo variar de acordo com o período chuvoso, com umidade relativa anual de 79,8% e precipitação anual de 2.417,6 mm (INMET, 2014).



Figura 1: Localização onde foi conduzido o experimento (maps.google.com)

1.2. Coleta, preparo e caracterização do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, zona rural da cidade de Pesqueira ($8^{\circ}34'17''$ de latitude sul, $37^{\circ}01'20''$ de longitude oeste e altitude de 654 m) situada na região semiárida do Nordeste, na Bacia do Alto Ipanema, no estado de Pernambuco.

A coleta foi realizada a uma camada de 0 – 30 cm em um solo classificado como Neossolo Flúvico de acordo com a EMBRAPA (2013). O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado por uma peneira com malha de 4mm, visando a conservação dos micro-agregados.

1.2.1. Caracterização inicial do solo

O solo foi caracterizado inicialmente determinando a sua composição química e física.

Na caracterização física (Tabela 1) determinaram-se a granulometria e a argila dispersa em água na terra fina seca ao ar (TFSA) a partir do método do densímetro; densidade do solo (método da proveta) e de partículas (método do balão volumétrico) (EMBRAPA, 1997). Determinou-se a capacidade de campo (ψ_m : - 0,1 atm) e o ponto de murcha permanente (ψ_m : - 15 atm).

Tabela 1: Caracterização inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento

Variáveis	Valor	
Ds (g cm ⁻³)	1,28	
Dp (g cm ⁻³)	2,52	
Areia (g kg ⁻¹)	Fina	314,99
	Grossa	163,01
	Total	478,01
Silte (g kg ⁻¹)	378,23	
Argila (g kg ⁻¹)	144	
ADA	100	
PT (%)	49,15	
GF (%)	30,56	
GD (%)	69,44	
CC (g g ⁻¹)	0,26	
PMP (g g ⁻¹)	0,05	

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; ADA: argila dispersa em água; GD: Grau de dispersão; GF: Grau de floculação. PT: Porosidade total; GD: (ADA/Argila) *100; GF: (1 – GD) *100. CC: Capacidade de Campo e PMP: Ponto de murcha permanente.

Já no que consiste na caracterização química (Tabela 2) realizou-se, na TFSA, o pH na relação solo:água; os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺) extraídos por acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (THOMAS, 1982). O extrato de saturação foi obtido através do preparo de pasta de saturação (RICHARDS, 1954), a partir do extrato foi avaliado a condutividade elétrica (CE) e o pH. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pelo método de cátion índice (RICHARDS, 1954). A soma de bases (SB) e a percentagem de Sódio trocável (PST) foram calculados a partir dos valores obtidos no complexo sortivo.

Tabela 2: Caracterização química do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento do vaso do experimento conduzido em ambiente protegido.

Variáveis	Valor
Extrato de Saturação	
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	3,2
pH em extrato saturado (pH _{se})	7,9
Complexo de Troca	
pH _{H2O} (1:2,5)	6,5
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	4,35
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	2,73
Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	1,48
K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,77
SB (cmol kg ⁻¹)	9,33
Hidrogênio	1,43
Alumínio	0
CTC (pH 7,0)	10,76
PST (%)	13,75

SB – Soma de bases (SB = Ca + Mg + Na + K); CTC – Capacidade de troca catiônica (CTC = SB + (Al + H)); PST – Porcentual de sódio trocável (PST = (100*Na+)/CTC).

1.3. Cultivar utilizada no experimento

A cultivar de sorgo escolhida foi a IPA 2502, desenvolvida pela Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA-PE). As sementes foram plantadas em vasos com capacidade de 8 L e preenchidos com solo peneirado em malha de 4 mm, tendo na base uma camada de brita 0 e perfurados para eventuais necessidade de drenagem. Em cada vaso foram semeadas 10 sementes. Dois desbastes foram realizados, o primeiro foi aos 12 dias após a semeadura (DAS) e segundo desbaste foi aos 17 DAS, permanecendo uma planta de sorgo por unidade experimental.

A fertilidade do solo foi corrigida de acordo com a necessidade nutricional da planta baseada na recomendação de adubação do sorgo para o estado de Pernambuco (IPA, 2008).

1.4. Manejo da irrigação das plantas

O solo em que as plantas foram cultivadas foi mantido em oitenta por cento (80%) da capacidade de campo, correspondendo a $0,209 \text{ g g}^{-1}$ de umidade gravimétrica. A umidade foi mantida diariamente por meio de pesagens com intuito de repor ao solo a água perdida por evapotranspiração. A água evapotranspirada foi repostada via proveta graduada.

1.5. Confecção das águas para irrigação

A solução salina 2 foi elaborada de acordo com a composição iônica da água do poço artesiano, situado próximo ao local de coleta do solo. A amostra de água foi levada ao laboratório do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) para ser realizada a sua caracterização (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização da água de poço artesiano, localizado na cidade de Pesqueira em Pernambuco, base para a preparação da solução de mistura de sais utilizada na irrigação das plantas de Sorgo Sacarino em ambiente protegido.

Pesqueira – PE (Água do Poço)		
Variáveis	Valor	
Condutividade Elétrica (dS m^{-1})	0,98	
pH	6,6	
	mg L^{-1}	mmolc L^{-1}
Ca^{2+}	27,2	1,36
Mg^{2+}	18,8	1,56
Na^{+}	92,5	4,02
K^{+}	5,8	0,14
Cl^{-}	185	5,21
NO_3^{-}	11,5	0,18
SO_4^{2-}	82	1,78

Análises de água realizadas pelo ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco*

Como forma de preservar as mesmas proporções iônicas para as condutividades elétricas desejadas de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 dS m^{-1} , foram realizados testes em laboratório. Os sais foram pesados (Tabela 4) e diluídos, dando origem as soluções. Cada solução após a diluição completa dos sais foi medida a condutividade elétrica e assim obteve-se os tratamentos utilizados

durante o experimento. A solução 1 foi composta apenas por Cloreto de Sódio (NaCl) e a solução 2 por uma mistura de sais formulada a partir do NaCl, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, MgCl₂, MgSO₄ e KCl.

Tabela 4: Quantidade de sais necessária para a formulação das soluções salinas, com propósito de obter as condutividades elétricas dos tratamentos.

CE (dS m ⁻¹)	Fonte de sais						
	1 (g L ⁻¹)	2 (g L ⁻¹)					
	NaCl	NaCl	CaCl ₂	Ca(NO ₃) ₂	MgCl ₂	MgSO ₄	KCl
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	1,203	0,751	0,229	0,079	0,258	0,402	0,069
5,0	2,773	1,728	0,528	0,181	0,593	0,925	0,159
7,5	4,461	2,950	0,901	0,309	1,012	1,580	0,272
10,0	6,397	4,256	1,300	0,445	1,460	2,279	0,392
12,5	8,372	5,842	1,785	0,612	2,005	3,129	0,538

1 – Solução formulada a partir de Cloreto de Sódio; 2 – Solução formulada a partir da mistura de sais.

Ao 17^o dia após a semeadura (DAS), a irrigação com água salina foi iniciada, preservando o estabelecimento das plantas. A irrigação se deu com o aumento gradativo da salinidade como forma de evitar o choque osmótico no sorgo sacarino. A estabilização dos tratamentos se deu aos 30 DAS, onde todas as unidades experimentais estavam com seu nível de condutividade elétrica correspondente.

As plantas de Sorgo submetidas a condutividade elétrica de 12,5 dS m⁻¹, aos 50 DAS morreram. Já as plantas submetidas a condutividade elétrica de 10 dS m⁻¹ não se apresentaram em condições hábeis de realizar as análises necessárias para a captação dos dados de alguns parâmetros.

1.6. Parâmetros avaliados

1.6.1. Determinação do status hídrico das plantas

O potencial hídrico das plantas foi avaliado aos 60 dias após a semeadura (DAS) em dois horários, *predawn* (madrugada), e ao meio-dia. As medições foram realizadas nesses períodos para contemplar os extremos dos valores

potenciais nas plantas. Folhas do terço médio da planta (Figura 2), totalmente expandidas e saudáveis, foram coletadas e refrigeradas, para serem determinados os valores do Potencial Hídrico (Ψ_t), Potencial Osmótico (Ψ_o), Potencial de Pressão (Ψ_p) e Teor Relativo de Água (TRA).

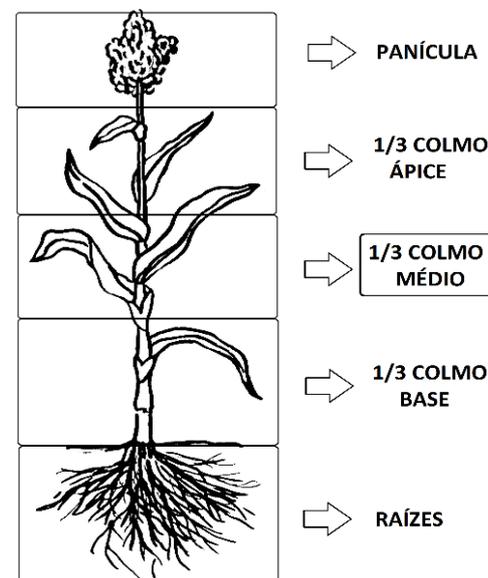


Figura 2: Divisão da planta de Sorgo com destaque para o local onde foi retirado o material vegetal para as análises de potencial hídrico na planta.

1.6.1.1. Potencial Hídrico (Ψ_t)

O potencial hídrico foi determinado com a utilização da Câmara de Pressão de Scholander (modelo 1515D Pressure Chamber Instrument – PMS Instrument Company). A pressão foi aplicada até ocorrer o extravasamento da seiva, momento que era visualizado no equipamento a pressão correspondente para produzir a saída da seiva, sendo considerado o potencial hídrico.

1.6.1.2. Potencial Osmótico (Ψ_o)

As folhas do terço médio coletadas para determinação do potencial hídrico foram maceradas em nitrogênio líquido e filtradas. A seiva obtida após a filtração foi centrifugada (10.000g por 10 minutos a 4°C), e o sobrenadante resultante do procedimento foi coletado e medido a osmolaridade, com auxílio do Osmômetro (VAPRO WESCOR Modelo 5600) (SILVEIRA et al., 2009).

A partir da aplicação da equação de van't Hoff foi determinado o potencial osmótico, conforme a equação (02):

$$\Psi_o = -R T C \quad (02)$$

Onde:

R – Constante geral dos gases (0,0082 kg MPa mol⁻¹ K⁻¹);

T – Temperatura absoluta (K);

C – Concentração total de solutos - osmolaridade (mol kg⁻¹).

1.6.1.3. Potencial de Pressão (Ψ_p)

De posse dos valores do potencial hídrico e potencial osmótico foi estimado o potencial de pressão, uma vez que o potencial hídrico é o somatório do potencial osmótico com o potencial de pressão (Equação 04).

$$\Psi_t = (\Psi_o) + (\Psi_p) \quad (04)$$

Organizando a equação, tem-se que:

$$\Psi_p = (\Psi_t) - (\Psi_o)$$

1.6.1.4. Teor Relativo de água (TRA)

A determinação do TRA foi realizada a partir do recorte de discos, de mesma área, das folhas coletadas para realização do potencial hídrico, onde uma parte do material vegetal foi utilizado para o Ψ_t e o outro reservado para o TRA. O material amostral foi pesado fresco (Massa fresca – MF), colocado para saturar em refrigerador com 4 °C até a completa turgescência, pesado para obter a Massa Túrgida (MT) e seco em estufa à 60°C por 48 horas. Após o processo de secagem foi obtida a massa seca (MS) (WEATHERLEY, 1950).

Através da equação (05) será estimado o TRA.

$$TRA (\%) = \frac{(MF-MS)}{(MT-MS)} \times 100 \quad (05)$$

Onde:

MF – Massa fresca dos discos (g);

MS – Massa seca dos discos (g);

MT– Massa turgida dos discos (g).

1.6.1.5. Suculência Foliar (SF) e Área foliar específica (AFE)

Os valores de SF e AFE foram obtidos dos dados de teor relativo de água, sendo estimados a partir das equações (06) e (07), propostas por Delf (1992) e Beadle (1993), respectivamente.

$$SF = \frac{(MF-MS)}{A} \quad (06)$$

Em que:

MF – Massa Fresca (g);

MS – Massa Seca (g);

A – Área dos discos foliares (cm²)

$$AFE = \frac{MS}{A} \quad (07)$$

Onde:

MS – Massa seca (g)

A – Área dos discos foliares (cm²)

1.6.2. Determinação do status hídrico no solo

Aos 60 DAS, durante a madrugada (02:00hs às 04:00hs), foram coletadas amostras de solo para determinação da umidade do solo. De posse desses

valores e utilizando-se a curva característica de água no solo (CCRAS) estimou-se o potencial matricial do solo. Uma parte dessa amostra foi utilizada para realização da pasta de saturação do solo e posterior extração da solução para determinação da osmolaridade e posterior estimativa do potencial osmótico pela equação de Van't Hoff citada no item 2.6.1.2. Como o potencial hídrico é a soma dos potenciais determinou-se com base na equação (06):

$$\Psi_t = (\Psi_o) + (\Psi_m) \quad (06)$$

1.6.3. Potencial na Atmosfera (Ψ_{atm})

Com auxílio dos dados de temperatura do ambiente e umidade relativa do ar obtidos por um *datalogger* (marca Instruterm modelo HT-70), foi determinado o potencial atmosférico. Sendo estimado a partir da equação (08) (SLATYER, 1967).

$$\Psi_{atm} = \left(\frac{-RT}{V_a}\right) * \ln UR \quad (08)$$

Onde:

R – Constante geral dos gases (0,0082 kg MPa mol K⁻¹);

T – Temperatura absoluta (K);

V_a – Volume parcial molar da água (0,018 L mol⁻¹);

UR – Umidade relativa do ar.

1.7. Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental em blocos ao acaso, com esquema fatorial 6x2, representando seis níveis de condutividade elétrica (0, 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 dS m⁻¹) e duas fontes de sais (Cloreto de Sódio-NaCl e Mistura de Sais) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Os dados foram analisados por meio de análise de variância, ajuste no modelo de regressão para os níveis de condutividade elétrica com auxílio do software Sisvar 2.0 e aplicado o teste de Tukey (p<0,05) para comparação de médias das fontes de sais.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potenciais em Neossolo Flúvico cultivado com sorgo sacarino e irrigado com soluções salinas.

Aos 60 DAS a umidade do solo aumentou com a elevação dos níveis de salinidade do solo para as diferentes composições de solução utilizadas na irrigação do sorgo sacarino (Figura 3).

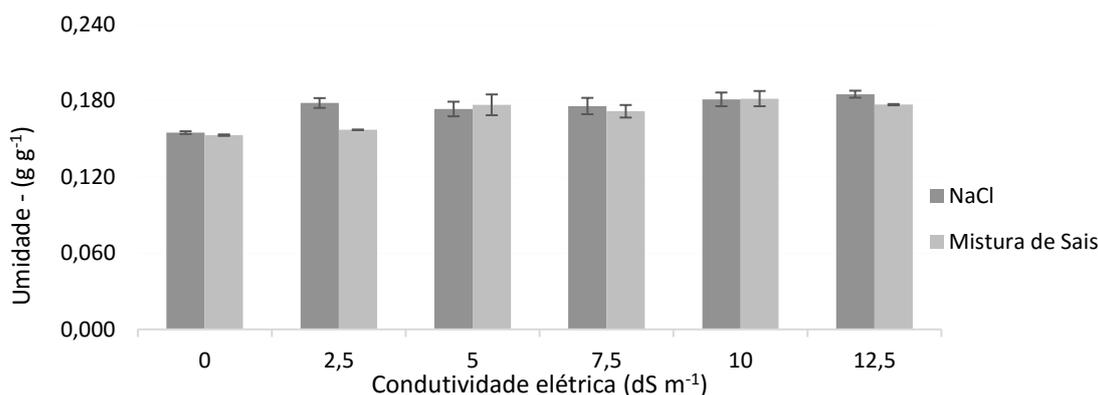


Figura 3: Médias da umidade gravimétrica do Neossolo Flúvico e seu respectivo desvio padrão, no momento da avaliação do potencial hídrico na madrugada (predawn), aos 60 DAS. Os vasos foram mantidos a 80% da capacidade de campo.

O tratamento controle (0 dS m⁻¹) apresentou uma umidade menor que os demais tratamentos, evidenciando o fato de que a umidade dos tratamentos não permaneceu na capacidade de campo desejada (80% da CC). Sugere-se que as plantas submetidas a esse tratamento teve um desenvolvimento superior as demais, o resultado disso ocasionou uma acentuada evapotranspiração (Figura 4).

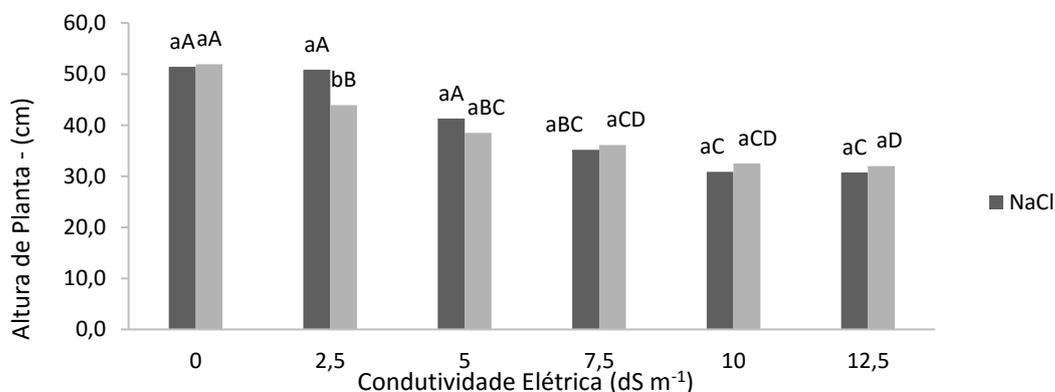


Figura 4: Altura da planta de Sorgo sacarino submetida a estresse salino, aos 60 DAS. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A biomassa da planta não pode ser dissociada da massa total do *continuum* solo-água-plantas. Assim sendo, mesmo havendo a reposição de água para a manutenção da umidade do solo do vaso, não foi possível esse equilíbrio para a testemunha (0 dS m⁻¹) e a condutividade elétrica de 2,5 dS m⁻¹.

Houve interação entre as fontes de sais e os níveis de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), apontando para um acréscimo do potencial matricial com o aumento da condutividade elétrica da solução, para ambos os tipos de água de irrigação (Figura 5). A partir da condutividade elétrica de 5 dS m⁻¹ pode ser observado a diminuição na variação do potencial matricial. Esse fato está correlacionado com a redução do potencial osmótico na planta, que por sua vez diminui a absorção de água, mantendo por mais tempo a umidade do solo.

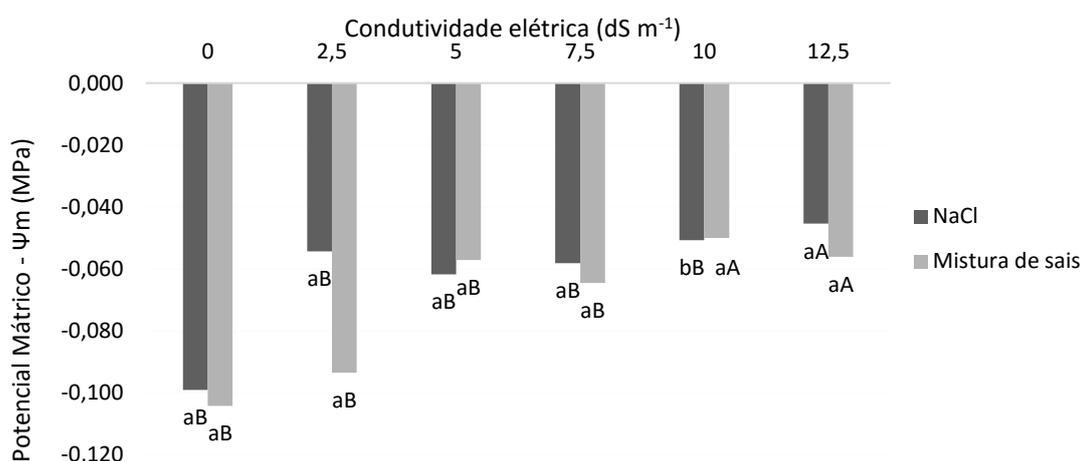


Figura 5: Potencial mátrico em solo irrigado com água de diferentes composições iônicas, cloreto de sódio e mistura de sais, durante a madrugada. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratando de potencial osmótico, pode-se perceber que houve diferença significativa entre os tipos de sais utilizados no preparo das soluções e os níveis crescentes de condutividade elétrica da solução. O potencial osmótico, a partir da solução extraída da pasta de saturação aos 60 DAS, reduziu linearmente (Figura 6), tornando-se mais negativo com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

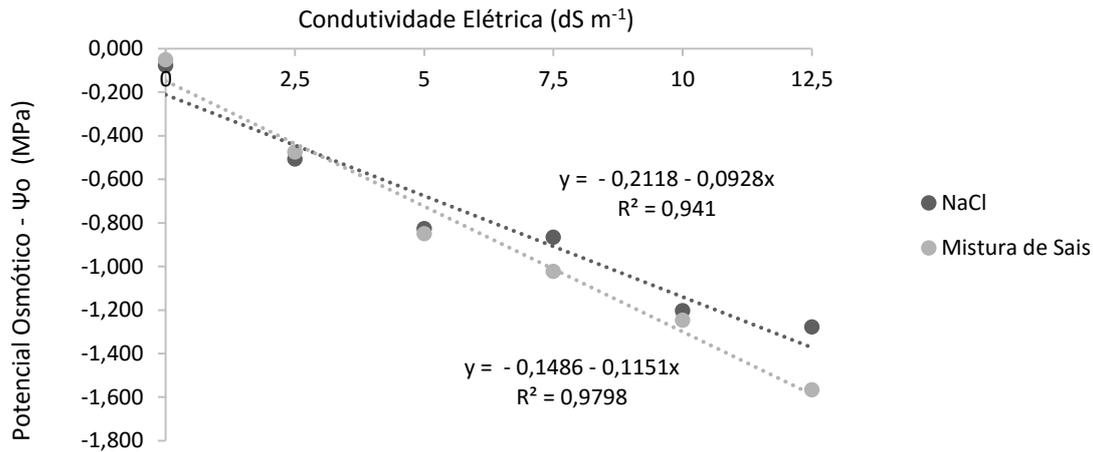


Figura 6: Potencial osmótico em solo irrigado com soluções salinas de diferentes composições iônicas, Cloreto de Sódio e Mistura de sais, aos 60 DAS

A elevação do nível de condutividade elétrica da solução do solo faz com que as propriedades coligativas da água sejam alteradas, reduzindo o potencial osmótico do solo (HILLEL, 2007).

O potencial hídrico ou potencial total do solo é o somatório dos potenciais mátrico e osmótico, que também apresentou uma redução linear a medida que as condutividades elétricas das soluções salinas foram elevadas (Figura 7). As diferentes composições das águas de irrigação diferiram significativamente entre si a uma probabilidade de 5%. O maior tratamento (CE = 12,5 dS m⁻¹) apresentou decréscimo atingindo -1,32 MPa para solução salina confeccionada a partir de cloreto de sódio e -1,62 MPa para a solução de mistura de sais. Duarte & Souza (2016) investigando o mesmo tipo de solo perceberam que o potencial hídrico apresentou decréscimo com a elevação da salinidade, alcançando -1,20 MPa para o nível de 9 dS m⁻¹. O aumento da condutividade elétrica da solução e a diminuição do potencial hídrico do solo foi um fato também observado por Razzaghi et al. (2011) e Jia et al. (2013).

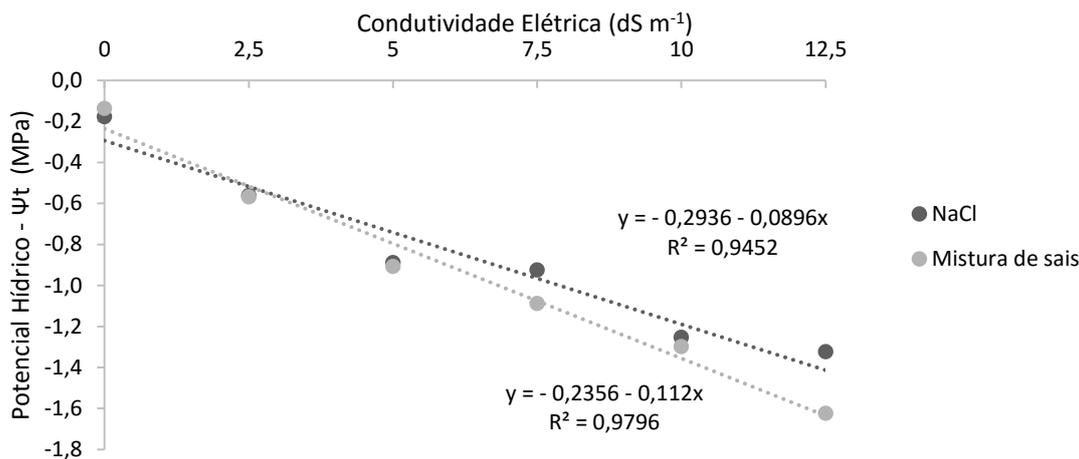


Figura 7: Potencial hídrico em solo irrigado com soluções salinas (Cloreto de Sódio e Mistura de sais) com condutividades elétricas crescentes, aos 60 DAS

A partir do momento em que o potencial hídrico do solo, passa a ser menor que o potencial hídrico da planta, o vegetal não consegue absorver água, tornando-se menos hidratado (MARRENCO & LOPES, 2005; SILVA et al., 2014). Dessa forma, o desequilíbrio entre a absorção de água pela planta, disponibilidade hídrica e transpiração, ocasiona perdas consideráveis no crescimento e desenvolvimento da cultura (SILVA et al., 2014).

Potenciais de água em plantas de sorgo sacarino

Para os potenciais na planta, tanto potencial osmótico quanto o potencial total, não foi observado influência das fontes de sais utilizados para confecção das soluções utilizadas para irrigação. No entanto, as condutividades elétricas reduziram os valores dessas variáveis, o que foi possível realizar um ajuste do modelo de regressão linear (Figura 8A e 8B).

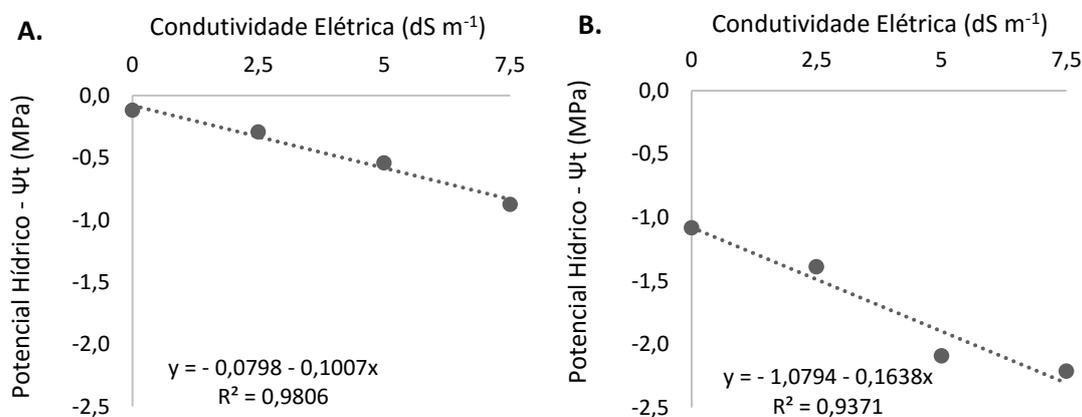


Figura 8: Potencial Hídrico em plantas de sorgo em dois horários, madrugada (A) e meio-dia (B), em função da condutividade elétrica das soluções utilizadas na irrigação, aos 60 DAS.

As plantas durante a madrugada apresentaram o potencial hídrico mais elevado que ao meio-dia. Durante a madrugada houve uma redução de 636,84% do valor do potencial hídrico no tratamento de 7,5 dS m⁻¹, e valor de -0,875 MPa com relação à testemunha (0 dS m⁻¹). Situação diferentemente observada para o horário diurno, onde as plantas irrigadas com a solução com condutividade elétrica de 7,5 dS m⁻¹ alcançaram um potencial de -2,213 MPa. Em consonância com os resultados desse trabalho, Liu et al. (2015) encontraram que plantas de sorgo sacarino submetidas a estresse salino reduziram o seu potencial hídrico de -0,47 MPa (controle - 0 mM) para -0,91 MPa (plantas estressadas - 100 mM de NaCl).

Para as folhas coletadas durante a madrugada, o potencial osmótico reduziu 151,15% na dose de 7,5 dS m⁻¹ em comparação ao tratamento controle (Figura 9A). Já o potencial osmótico das folhas coletadas ao meio dia da planta controle (0 dS m⁻¹) foi de -1,885 MPa e o potencial do tratamento com CE de 7,5 dS m⁻¹ foi de -3,868 Mpa, apresentando uma redução de 105,27%, quando comparada com a testemunha (Figura 9B).

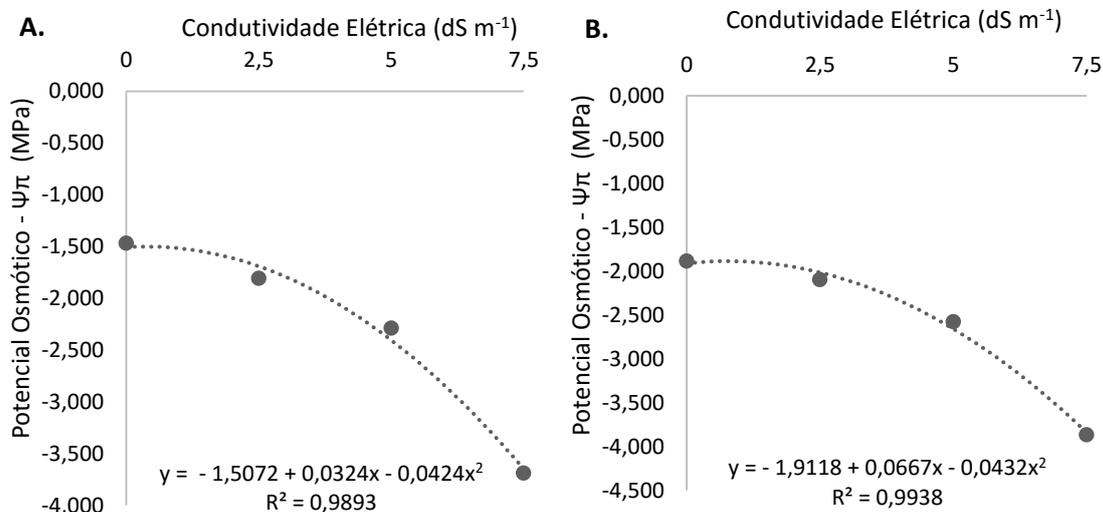


Figura 9: Potencial Osmótico em plantas de sorgo, durante o predawn (A) e meio-dia (B), em função da condutividade elétrica das soluções utilizadas na irrigação, aos 60 DAS.

Essa diferença de potencial observada entre os horários avaliados para os mesmos tratamentos salinos, pode ser atribuída tanto ao processo fisiológico da planta denominado transpiração, quanto a possível diluição dos solutos orgânicos intracelulares, visto que nas primeiras horas do dia, as células

apresentam um maior grau de hidratação. Como forma de adaptação ao meio estressante as plantas elevam a concentração de aminoácidos livres e solutos inorgânicos (LOUKEHAICH et al., 2011).

Com o aumento da salinidade, Brito et al. (2014) perceberam que o capim Tanzânia decresceu linearmente em 29,87% o consumo de água. Pois, ao se irrigar com soluções salinas, o potencial osmótico do solo reduz, resultando em uma menor absorção de água pela planta (DIAS et al., 2005). Duarte e Souza (2016) encontraram resultados semelhantes em plantas de pimentão, onde o potencial hídrico e potencial osmótico reduziram linearmente à medida que a salinidade da água de irrigação foi elevada.

A redução dos potenciais (hídrico e osmótico) e subsequente dificuldade de absorção de água e nutrientes por parte do vegetal, ocasiona o processo de seca fisiológica (DIAS & BLANCO, 2010; SILVEIRA et al., 2011; SÁ et al., 2013). Sob condições de baixa disponibilidade hídrica as plantas de sorgo tendem a modificar sua estrutura morfológica como forma adaptativa ao estresse submetido (RAMOS JUNIOR et al., 2013; SOUZA et al., 2013; SANTOS et al., 2014). Segundo Mutava et al. (2011) o sorgo é uma espécie que realiza o ajustamento osmótico mesmo sob condições estressantes, isto é, reduz o seu potencial para mais negativo que o solo, como forma de absorver água e sais minerais (BERNSTEIN, 1993; LI et al., 2014).

Potencial de água na atmosfera (Ψ_a ; atm)

Na figura 10 pode-se verificar o comportamento diário da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar a partir do 14^o DAS. Com base nisso, observou-se que nos dias em que foram realizadas as determinações durante potencial hídrico na planta o potencial de água na atmosfera apresentou para as medições durante a madrugada, -19 MPa e -25MPa (Figura 11A) e para as medições diurnas valores entre -125 MPa e -154 MPa (Figura 11B).

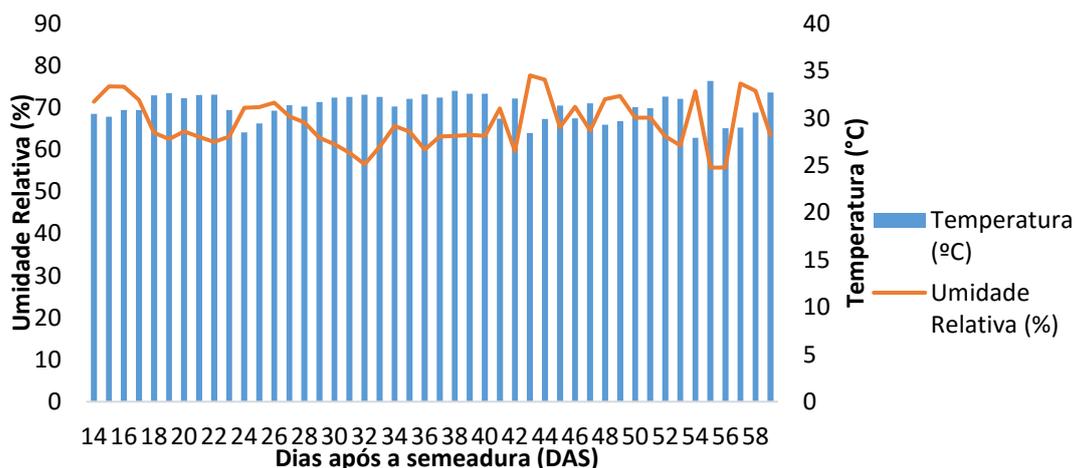


Figura 10: Relação temperatura do ar e umidade relativa, em ambiente protegido, durante a condução do experimento

Existe grande influência do potencial de água na atmosfera, onde a partir do aumento ou diminuição do déficit de pressão de vapor da água o potencial hídrico sofrerá alterações. De acordo com Pimentel (2004) quanto maior a temperatura, maior será a quantidade de água em estado de vapor, fazendo com que o potencial de água na atmosfera diminua, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

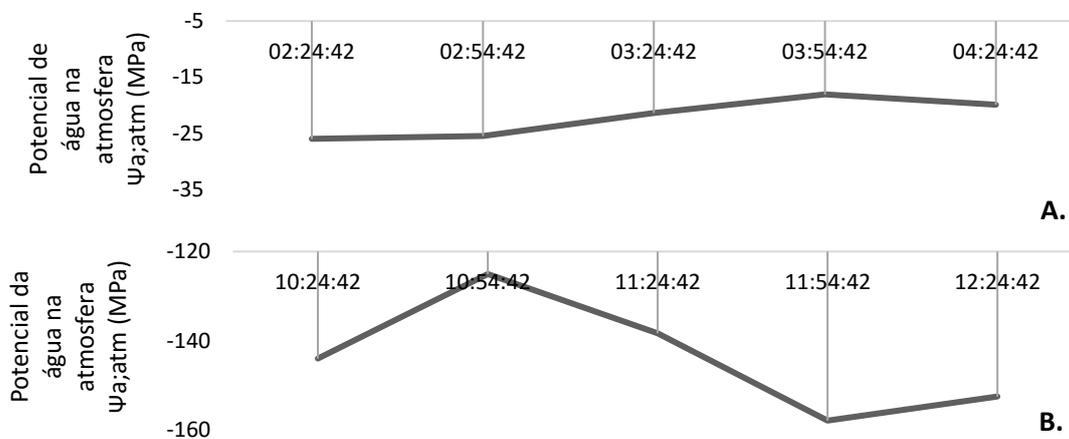


Figura 11: Potencial de água na atmosfera, durante a aquisição de dados para determinação do potencial hídrico em plantas de Sorgho saccharino. (A) Potencial de água na atmosfera na madrugada (predawn); (B) Potencial de água na atmosfera ao meio – dia.

TRA, Suculência e Área específica de folhas de Sorgho saccharino

O teor relativo de água nas plantas de sorgho saccharino não foi afetado significativamente pelos tipos de sais utilizados na composição das soluções

aplicadas nas plantas. Apresentou diferença significativa a 1% ($p < 0,01$) para os níveis de salinidade da água de irrigação. A redução do TRA foi observada, tanto para madrugada (Figura 12A) quanto para o meio-dia (Figura 12B), com o aumento da condutividade elétrica.

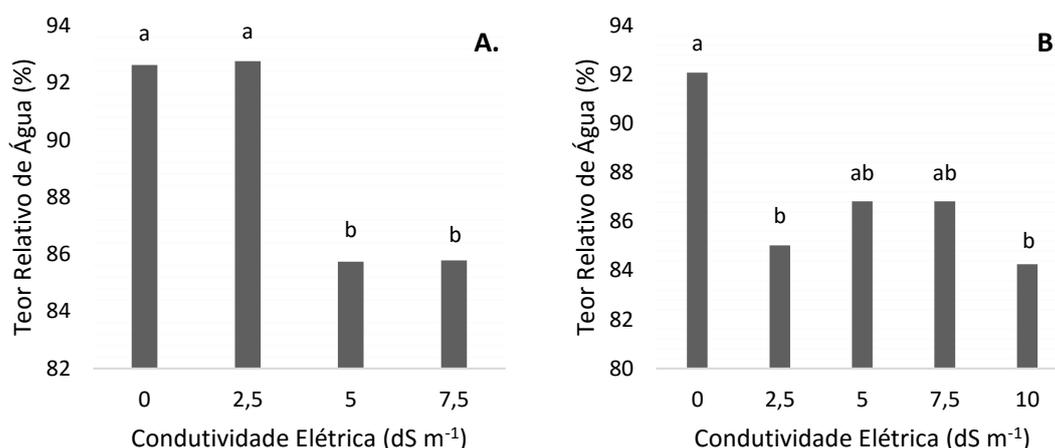


Figura 12: Teor relativo de água (TRA) em plantas de sorgo sacarino em diferentes horários, madrugada (A) e meio-dia (B) submetidas a irrigação com soluções salinas, aos 60 DAS. - Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A variação do TRA, em se tratando dos horários de determinação, se deve principalmente ao fechamento estomático. Durante a madrugada os estômatos tendem a estarem fechados para que a planta desempenhe os seus processos fisiológicos de absorção de água e nutrientes. Este fato faz com que as células estejam mais túrgidas, independente da qualidade de água da irrigação.

Zulfiqar Ali et al. (2013) perceberam que em três variedades de Sorgo submetidos a níveis crescentes de salinidade (0, 50, 100, e 150 mM de NaCl), apresentaram reduções no TRA de até 29,28% em relação a testemunha. Sob condições salinas, é desencadeado o processo de déficit hídrico provocando a redução do teor relativo de água em plantas, fato observado por Saeed et al. (2014) em quiabo. Soliman et al. (2014) observaram o mesmo comportamento em cinco espécies da família *Apiaceae*.

Como forma de adaptar-se ao estresse as plantas aumentam a suculência foliar, isto é, quanto maior a suculência menor será a restrição no uso de água

pela planta. Esse mecanismo adaptativo tem relação com a espessura foliar, em geral espécies localizadas em ambientes com recursos hídricos escassos tendem a possuir folhas mais espessas (NIINEMETS, 2001; COSTA et al., 2008; ALDESUQUY et al., 2014).

Para a suculência foliar, não houve interação entre os fatores, fonte de sais e níveis crescentes de salinidade. Na tabela 5, observa-se a diferença entre as médias dos tratamentos aos 60 DAS. Houve diferença entre as médias dos tratamentos para a solução de NaCl, percebendo o acréscimo da suculência foliar para a condutividade elétrica de 7,5 dS m⁻¹.

Aldesuquy et al. (2013) observaram respostas semelhantes em plantas de trigo submetidas a estresse salino. Junior et al. (2012) observaram que a suculência do limbo reduz com o aumento da salinidade, porém a suculência radicular foi superior à do limbo.

O aumento da suculência em plantas se deve a regulação de íons nos tecidos da planta e depende diretamente da absorção, transporte e acúmulo de íons que contribui para reduzir os efeitos deletérios no crescimento e desenvolvimento da cultura (ALSCHER et al., 1990).

Tabela 5: Suculência Foliar e Área Foliar Específica em plantas de Sorgo Sacarino submetidas a irrigação com águas de diferentes composições iônicas, durante o meio-dia e madrugada, aos 60 DAS.

Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	Suculência Foliar (g H ₂ O cm ⁻²)		Área Foliar Específica (g cm ⁻²)	
	Meio – dia	Madrugada	Meio - dia	Madrugada
0	0,085b	0,083a	0,051a	0,0501ab
2,5	0,079c	0,084a	0,048b	0,0506a
5	0,085b	0,083a	0,048b	0,0482bc
7,5	0,090a	0,085a	0,047b	0,0460c
10	0,087ab		0,046b	
CV (%)	3,89	5,42	2,99	3,53

- Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

No que concerne a área foliar específica (AFE) não houve diferença significativa entre as fontes de sais, mas os níveis de crescentes de CE's

apresentaram diferença significativa a 5%. Pode - se inferir que as plantas tiveram um decréscimo na área foliar específica com o aumento da salinidade (Tabela 6).

Devido ao estresse provocado pela salinidade as plantas estão mais propensas a diminuir o alargamento foliar, área foliar e divisão celular como forma de conservação de energia (OUDA, 2006; JALEEL et al., 2008).

Relação entre o potencial hídrico no solo e em plantas de Sorgo Sacarino submetidos a irrigação com soluções salinas

Segundo Bergonci et al., (2000) quando se considera a medição do potencial hídrico foliar antes da abertura estomática, afirma-se haver equilíbrio entre o estado hídrico da folha e do solo. Porém alguns autores reportam diferenças no potencial hídrico do solo e das plantas antes do amanhecer (CEULEMANS et al., 1988; LELLES et al., 1998; DONOVAN et al., 2001; JAMES et al., 2006).

Em solo cultivado com Sorgo sacarino e irrigado com soluções salinas com níveis crescentes de condutividade elétrica foi observado que não houve equilíbrio entre o potencial hídrico na planta e no solo durante a madrugada (*predawn*) (Figura 13). As plantas submetidas a irrigação com os tratamentos de 0 dS m^{-1} apresentaram a menor diferença entre o potencial hídrico no solo e na planta de $-0,032 \text{ MPa}$. Já o nível de salinidade de 5 dS m^{-1} apresentou a maior diferença entre o potencial hídrico no solo e na planta de $0,355 \text{ MPa}$.

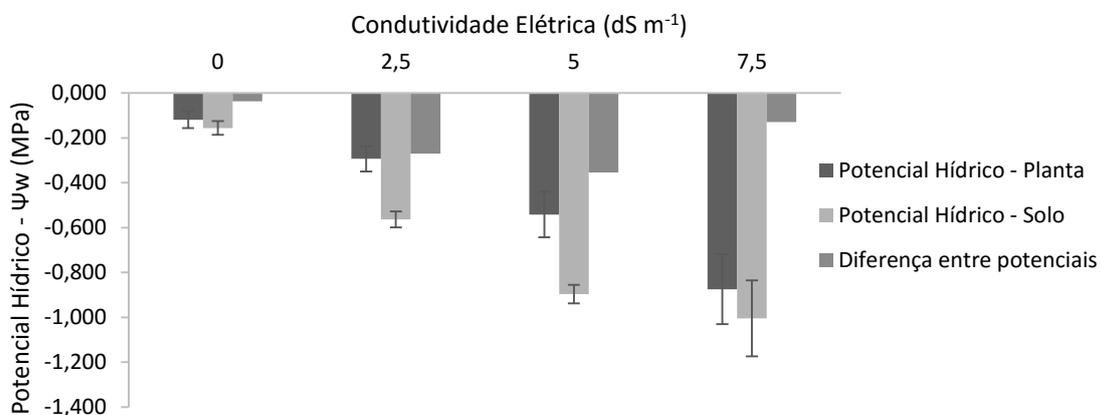


Figura 13: Diferença entre o potencial hídrico em Neossolo Flúvico e plantas de Sorgo sacarino, e seu respectivo desvio padrão, durante a madrugada, aos 60 DAS.

Segundo Katerji & Hallaire (1984), o potencial de água na planta depende do estado hídrico do solo, da densidade e da profundidade do sistema radicular. Para Donovan et al. (2000) alguns mecanismos podem contribuir para o desequilíbrio entre o potencial hídrico da planta e do solo na madrugada, destacam-se a heterogeneidade do solo, redistribuição hidráulica, condutância ou capacitância hidráulicas, transpiração noturna e solutos apoplásticos

Ao se relacionar o potencial hídrico do solo e potencial hídrico foliar sob condições de restrição hídrica, Bergonci et al. (2000) afirmaram que embora haja elevada associação entre as variáveis, observa-se uma considerada dispersão dos valores, o que pode ser resultado da resistência durante o processo de absorção e no fluxo de água, principalmente no que concerne a relação solo-raiz, cujo empecilho diminui a disponibilidade hídrica.

O sorgo possui maior amplitude nas variações da condutância estomática, se comparado ao milho, o que promove um maior descompasso do potencial hídrico foliar (VIEIRA JÚNIOR et al., 2007). Para James et al (2006) o desequilíbrio entre o potencial no solo e em plantas pode ser maior que 0,5 MPa, em plantas halófitas. Donovan et al. (1999) encontraram desequilíbrio no potencial hídrico solo-planta de até até 1,2 MPa para *Chrysothamnus nauseosus* (0 e 100 mM de NaCl) e de 1,8 MPa para *sarcobatus vermiculatus* (0, 100 , 300 , e 600 mM de NaCl).

3. CONCLUSÕES

O potencial mátrico em Neossolo Flúvico apresenta acréscimo com o aumento da salinidade da água de irrigação;

O potencial osmótico do solo decresce com o aumento dos níveis correspondentes de condutividade elétrica para ambas as fontes de sais;

O potencial hídrico do Neossolo Flúvico decresce linearmente com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação;

Em relação aos potenciais na planta (potencial osmótico e o potencial total) não foi observado influência dos sais utilizados para confecção das soluções utilizadas para irrigação;

Houve maior redução do potencial osmótico das plantas durante a madrugada que ao meio-dia;

O potencial hídrico no Sorgo sacarino comportou-se mais negativamente ao meio-dia que durante a madrugada;

A suculência foliar aumenta com a elevação do estresse abiótico na planta de sorgo;

A área foliar específica reduz como forma adaptativa ao estresse salino;

Ao se relacionar o potencial hídrico da planta e do solo, percebe-se o desequilíbrio dessas variáveis durante a madrugada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDESUQUY, Heshmat S.; IBRAHEEM, Farag I.; GAHNEM, Hanan E. Comparative Morpho-Biochemical responses of wheat cultivars Sensitive and Tolerant to water stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, v. 10, n. 2, 2014.
- ALI, Zulfiqar; KHAN, D.; AHMED, N. Physiological parameters of salt tolerance in three cultivars of *Sorghum bicolor (L.) Moench*. at seedling stage under single salt (NaCl) salinity. *Int. J. Biol. & Biotech*, v. 10, n. 1, p. 125-142, 2013.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALSCHER, Ruth G. et al. Stress responses in plants: Adaptation and acclimation mechanisms. Wiley-Liss, Inc., 1990.
- ARAGÃO, R. M. et al. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 1, p. 100-106, 2010.
- BEADLE, C. L. Growth analysis. In: *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*. Springer Netherlands, 1993. p. 36-46.
- BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.
- BERNSTEIN, L. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual review of phytopathology*, v. 13, n. 1, p. 295-312, 1975.
- BERNSTEIN, N.; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress. *Planta*, v. 191, n. 4, p. 433-439, 1993.
- BRITO, A. A. F. de et al. Consumo Hídrico do Capim Tânzania Irrigado com Água Salina. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 12, n. 1, p. 15-18, 2014.
- CAVALCANTE, L. F. et al. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4Sup1, p. 1281-1290, 2010.

CEULEMANS, R. et al. Net CO₂ exchange rate as a sensitive indicator of plant water status in corn (*Zea mays* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, v. 68, n. 3, p. 597-606, 1988.

COSTA, A. C. et al. Variação de características morfofuncionais de espécies encontradas em fitofisionomias contrastantes de cerrado. 2008.

DELFT, E. M. Transpiration in succulent plants. *Annals of Botany*, v. 26, n. 102, p. 409-442, 1912.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; CHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; SOARES, T.M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.496-504, 2005.

DIAS, N. S. & BLANCO, F. F. Efeitos da salinidade no solo e na planta. IN: Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. GHEYI, Hans R.; DA SILVA DIAS, N.; DE LACERDA, C. F. INCTSal, p. 129 – 140, 2010

DICKISON, W.C. *Integrative Plant Anatomy*. USA, Academic Press. 2000. 533p.

DONOVAN, L. A. et al. Predawn disequilibrium between plant and soil water potentials in two cold-desert shrubs. *Oecologia*, v. 120, n. 2, p. 209-217, 1999.

DONOVAN, L. A.; LINTON, M. J.; RICHARDS, J. H. Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. *Oecologia*, v. 129, n. 3, p. 328-335, 2001.

DONOVAN, L. A.; RICHARDS, J. H.; LINTON, M. J. Magnitude and mechanisms of disequilibrium between predawn plant and soil water potentials. *Ecology*, v. 84, n. 2, p. 463-470, 2003.

DUARTE, H. H. Félix; SOUZA, E. R. de. Soil Water Potentials and *Capsicum annum* L. under Salinity. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2016.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Rio de Janeiro, 2013.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Recomendações técnicas para a cultura do sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1988. (Circular técnica, 1).

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Mapa de Solos do Brasil, escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 1981.

Food and Agricultural Organization – FAO. 2013. Disponível em <<https://www.fao.org.br/FAOddma.asp>> Acesso em: Fevereiro de 2015.

Food and Agricultural Organization – FAO. In: Statistics Division. 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org> Acesso em: maio de 2016

FAO. Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Rome: FAO, 2000. 22p.

HILLEL, D. Soil in the environment: crucible of terrestrial life. Academic Press, 2007.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. In: BDMEP – Banco Nacional de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2014. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: Junho de 2016

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2^ª aproximação). 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2008. 198p.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. Climate change 2014. 2014

JALEEL, C. A. et al. Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. Turkish Journal of Biology, v. 32, n. 2, p. 79-83, 2008.

JAMES, J. J. et al. High apoplastic solute concentrations in leaves alter water relations of the halophytic shrub, *Sarcobatus vermiculatus*. Journal of experimental botany, v. 57, n. 1, p. 139-147, 2006.

JIA, Junshu; KANG, Yaohu; WAN, Shuqin. Effect of soil matric potential on wolfberry (*Lycium barbarum* L.) yield, evapotranspiration and water use

efficiency under drip irrigation. African Journal of Agricultural Research, v. 8, n. 44, p. 5455-5463, 2013.

JUNIOR, G. de S. E. S. et al. Crescimento de genótipos diplóides de bananeira submetidos ao estresse salino. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 16, n. 11, p. 1145-1151, 2012.

KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. Agronomie, v. 4, n. 10, p. 999-1008, 1984.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. Revista Árvore, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LI, C. et al. Effects of soil alkalization on osmotic adjustment and ion balance in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Journal of Plant Nutrition, v. 37, n. 7, p. 1104-1119, 2014.

LIU, P. et al. Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. Environmental and Experimental Botany, v. 111, p. 42-51, 2015.

LOUKEHAICH, R. et al. Identifying multiple physiological responses associated with salinity tolerance for evaluating three tomato cultivars selected from Moroccan territory. J. Anim. Plant Sci, v. 21, n. 1, p. 1219-1231, 2011.

MAGALHAES, P. C. et al. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. IN: Sorgo: do plantio à colheita. PIMENTEL, A.B. L. D.; PARELLA, R.A. da C. Ed. UFV, 275 p. Viçosa, MG, 2014.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral, Editora UFV. Viçosa, MG, 2005.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. New phytologist, v. 167, n. 3, p. 645-663, 2005.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, cell & environment, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

MUTAVA, R. N. et al. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. *Field Crops Research*, v. 123, n. 1, p. 10-18, 2011.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*, v. 44, n. 3, p. 797, 2004.

NIINEMETS, Ülo. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology*, v. 82, n. 2, p. 453-469, 2001.

OLIVEIRA, J. R. M. de; Avaliação de novas progênies f6 de sorgo sacarino promissoras para a produção de etanol na zona da mata de Pernambuco. 2014. (Dissertação de mestrado)

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Seropédica: Edur, 2004.

RAZZAGHI, F. et al. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 197, n. 5, p. 348-360, 2011.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, AA de A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. IN: *Tópicos em Ciência do Solo* . CURI, N.; MARQUES, JJ; GUILHERME, LRG; LIMA, JM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 165-208, 2003.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCTSal, p. 11-19, 2010.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*, v. 78, n. 2, p. 154, 1954.

SÁ, F. V. da S. et al. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 17, n. 10, p. 1047-1054, 2013.

SAEED, R.; MIRZA, S.; AHMAD, R. Electrolyte leakage and relative water content as affected by organic mulch in okra plant (*Abelmoschus Esculentus (L.) Moench*) grown under salinity. *Fuuast Journal of Biology*, v. 4, n. 2, p. 221, 2014.

ACOSTA SANCHEZ, D. White food-type sorghum in direct-expansion extrusion applications. 2004. Tese de Doutorado. Texas A&M University.

SCALON, S. de P. Q. et al. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma Ulmifolia Lam.*). *Ciência Florestal*, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences*, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.

SILVA, J. L. de A. et al. Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 7, n. 4, 2012.

SILVA, M. V. T. da et al. CE e RAS do extrato de saturação do solo sob diferentes níveis de salinidade e doses de nitrogênio no cultivo da abobora. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, n. 2, p. 277-284, 2014.

SILVEIRA, J. A. G. et al. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 66, n. 1, p. 1-8, 2009.

SILVEIRA, J. A. G. da; PEREIRA, V. L. A. Efeito do Ca^{2+} externo no conteúdo de Na^+ e K^+ em cajueiros expostos a salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 4, p. 602-608, 2011.

SLATYER, R. O. 1967. *Plant-water relationships*. Academic Press, London.

Snaar, JE, and H. Van As. 1992a. A method for the simultaneous measurement of NMR spin-lattice and spin-spin relaxation times in compartmentalized systems. *J. Magn. Reson*, v. 99, p. 139-148, 1967.

SOLIMAN, W. S.; EL-SHAHENY, Abdel-Haleem A. H. Effect of saline water on germination and early growth stage of five Apiaceae species. *African Journal of Agricultural Research*, v. 9, n. 7, p. 713-719, 2014.

SOUSA, A. B. O. de; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 390-394, 2011.

SOUZA, L. C. de et al. Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 12, n. 3, p. 240-249, 2013.

THOMAS, G. W. 1982. Exchangeable cation. In: Page A.L. et al. *Method of Soil Analysis, II. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monogram 9, Second Edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. Pp 296-301.

USDA. Grain: World Markets and Trade. 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>> Acesso em: Maio de 2016.

USDA, Foreign Agriculture Service, Production, Supply, and Distribution Database. 2015.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. et al. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas à estresse hídrico. *Acta Sci. Agron*, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

WEATHERLEY, PjE. Studies in the water relations of the cotton plant. *New Phytologist*, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R.. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia biosfera*, v. 6, n. 11, p. 1-23, 2010.

CAPÍTULO 2

TROCAS GASOSAS EM SORGO SACARINO (*Sorghum Bicolor L. Moench*) E EFLUXO DE CO₂ EM SOLO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

MONTEIRO, Danilo R.

RESUMO

A salinidade provoca efeitos deletérios em solo e em espécies vegetais, sendo tema de grande relevância para estudos que investigam alterações fisiológicas nas plantas. Com isso o presente estudo objetivou-se em avaliar as trocas gasosas de sorgo sacarino e o efluxo de CO₂ do solo após a aplicação de água com níveis crescentes condutividades elétricas. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, campus Recife, durante 65 dias, de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016. A irrigação foi realizada com duas fontes de água (NaCl e Mistura de Sais) ambas com seis níveis de condutividade elétrica (0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dS m⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, perfazendo um fatorial de 6 x 2 com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Aos 60 dias após a semeadura (DAS), mediu-se, com o auxílio do IRGA (Infra Red gas Analyser): fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração; foram estimados a eficiência do uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca de carboxilação (EIC). Aos 63 DAS, foi medido o efluxo de CO₂ do solo e a respirometria da biomassa microbiana do solo. As plantas de sorgo sacarino apresentaram reduções para os parâmetros de trocas gasosas, apontando para o estresse severo sofrido devido ao aumento da salinidade. O efluxo de CO₂ e a respirometria da biomassa microbiana decresceram com a elevação dos níveis de condutividade elétrica, direcionando para o possível efeito da salinidade sobre a liberação de CO₂ pelo sistema radicular da planta e a diminuição da biomassa microbiana

Palavras-chave: Fotossíntese, Biomassa Microbiana, Estresse Salino.

CHAPTER 2

GAS EXCHANGE IN SWEET SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. Moench) AND CO₂ EFFLUX IN SOIL IRRIGATED WITH SALINE WATER

MONTEIRO, Danilo R.

SUMMARY

Salinity causes deleterious effects on soil and plant species, becoming subject of great relevance to studies investigating physiological changes in plants. Thus the present study aimed to evaluate the gas exchange in sweet sorghum and CO₂ efflux in soil after applying water with increasing levels electrical conductivities. The experiment was carried out in a protected environment at the Federal Rural University of Pernambuco, Recife campus, northeast region of Brazil, for 65 days, during period of December 2015 to February 2016. Irrigation was performed with two salt sources (NaCl and Salt Mixture) both with six levels of electrical conductivity (0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 dS m⁻¹). The experimental design was a randomized block, making a factor of 6 x 2 with 4 replications, totaling 48 experimental units. 60 days after sowing (DAS), it was measured with the aid of IRGA (Infra Red Gas Analyser): photosynthesis, stomatal conductance, transpiration; it was also estimated the efficiency of water use (EWU) and the intrinsic carboxylation efficiency (ICE). At 63 DAS, it was measured soil CO₂ efflux and respirometry soil microbial biomass. The sorghum plants showed reductions for gas exchange parameters, pointing to the severe stress suffered due to increased salinity. The CO₂ efflux and respirometry microbial biomass decreased with increasing electrical conductivity levels, pointing to the possible effect of salinity on the release of CO₂ by the root system of the plant and reduced microbial biomass.

Keywords: Photosynthesis, Microbial Biomass Saline Stress.

INTRODUÇÃO

O sorgo é o quinto cereal mais produzido mundialmente, ficando atrás apenas, do trigo, arroz, milho e cevada. Possui o cultivo principalmente em regiões semiáridas, onde os fatores edafoclimáticos são limitados (RIBAS, 2008; SRINIVASA et al., 2009) A partir dos cinco tipos diferentes de sorgo (granífero, forrageiro, sacarino, biomassa e vassoura) é possível atender as diferentes parcelas de mercado (MAY, 2013), sendo bastante utilizado na produção de farinha para indústria de panificação, amido indústria, etanol, forragem, entre outros (RODRIGUES et al., 2011). Devido essa diversificação de uso, aproximadamente 500 milhões de pessoas, em países em desenvolvimento, chegam a suprir 70% da ingestão calórica diária a partir do sorgo (MUTISYA et al., 2009).

Por se tratar de uma planta C4, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas, o sorgo é mais tolerante ao déficit hídrico e ao excesso de umidade do solo, do que a maioria dos cereais (MAGALHÃES, DURÃES & RODRIGUES, 2008). Altas produtividades podem ser encontradas em áreas cultivadas com sorgo e irrigadas com água de elevada concentração de sais, apontando para a potencialidade de uso dessa cultura em áreas que apresentem recursos salinos (MORAIS NETO, 2009).

Com o aumento da demanda por alimentos a busca por recursos alternativos para suprir as necessidades das culturas tornam-se frequentes. Destes recursos a água e o solo são de extrema importância, para fixação, crescimento, desenvolvimento e manutenção dos cultivos.

A salinidade torna-se um dos fatores abióticos que mais afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas (MUNNS & TESTER, 2008). O aumento na proporção de sódio na solução do solo atua no complexo sortivo, substituindo elementos como o cálcio e o magnésio, iniciando o processo de sodificação (RIBEIRO et al., 2003). Esse sódio ainda pode promover a dispersão dos colóides e consequente movimentação no solo, alterando as suas propriedades físicas e químicas (FREIRE et al., 2003; LIMA et al., 2012).

Em geral, o transporte de diversos cátions (Ca^+ , Mg^+ , K^+) ocorrem na água de irrigação além do sódio, que juntamente com óxidos e a matéria orgânica tem

papel de agente cimentante, diminuindo os efeitos negativos provocados pelo Na^+ (ASSIS Jr & SILVA, 2014).

Os efeitos depressivos do acúmulo de sais nas plantas provocam o desequilíbrio nutricional, sendo frequente a deficiência de elementos como cálcio, magnésio, fósforo e nitrato (WILLADINO & CAMARA, 2010). Segundo Munns et al. (2006) o desenvolvimento celular e a fotossíntese são os primeiros a serem afetados pela salinidade.

Ao sofrer alterações morfológicas, as folhas modulam a perda de água como forma de reduzirem a condutância estomática (MUNNS & TESTER, 2008), uma vez que, em condições salinas o fechamento estomático limita a perda de água pelas folhas (YOUSIF et al., 2010), isto é, caso a planta diminua o seu potencial hídrico, devido a taxa de perda de água ser superior à sua capacidade de absorção e transporte, os estômatos se fecham e a fotossíntese reduz (MARENCO & LOPEZ, 2005; TAIZ & ZAIGER, 2009; SILVA et al., 2014).

A estreita relação entre a taxa fotossintética e a transpiração das plantas refletem a capacidade da planta em interceptar os raios solares e efetuar as trocas gasosas com o ambiente, constituindo-se um importante indicador de produtividade (GUIMARÃES et al., 2002).

A fotossíntese e a transpiração apontam para a eficiência com que a planta utiliza a água, ou seja, como a planta submetida a algum processo estressante vai reagir frente a absorção de água e armazenamento em seus tecidos. Geralmente plantas CAM possuem mecanismos para melhorar a eficiência do uso da água, como é o caso da pequena abertura dos estômatos durante a noite, situação diferente da que acontece em plantas C4, já que esse processo adaptativo não está presente (CHICONATO, 2016). Porém, as plantas C4 são capazes de manter taxas relativamente elevadas de CO_2 , mesmo com os estômatos fechados, apresentando melhor desempenho do que plantas C3 sob estresse salino (MONREAL et al., 2013; CHICONATO, 2016)

A salinidade, além de apresentar efeitos deletérios sobre a planta, ela causa problemas na atividade microbiana do solo (RIETZ & HAYNES, 2003). Os sais, principalmente os constituídos a partir do elemento sódio, provoca desordens diretas e indiretas no solo (ANDRADE et al., 2016). Em regiões

submetidas a salinidade, com longos períodos de seca e altas temperaturas apresentam expressiva redução na biomassa microbiana (TRIPATHI et al., 2006). Dessa forma em regiões áridas e semiáridas a propensão de ocorrer alterações na microbiota do solo é significativa.

Em comparação entre metais pesados e salinidade, Sardinha et al. (2003) perceberam que a salinização apresenta efeitos mais deletérios sobre a microbiota do solo.

Nas últimas décadas os estudos dos efeitos da salinidade no solo e em plantas vem se intensificando, visto que cada vez mais há a necessidade de produzir alimentos em quantidade e prezando pela sustentabilidade durante o processo produtivo. Os recursos naturais encontram-se deveras escassos pela sua não-preservação inferindo em áreas agrícolas colapsadas.

Desse modo o presente trabalho teve como objetivo aferir as trocas gasosas em plantas de Sorgo sacarino submetidas a estresse salino, além de quantificar e avaliar o efluxo de gás carbônico do solo e a respiração microbiana de solo irrigado com soluções salinas com diferentes composições iônicas.

1. MATERIAL E MÉTODOS

1.1. Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (Figura 1) na Universidade Federal Rural de Pernambuco, campus Recife – PE ($8^{\circ}04'03''$ de latitude sul, $34^{\circ}55'00''$ de longitude oeste e altitude de 4 m), no período de 22 de dezembro de 2015 a 25 de fevereiro de 2016, totalizando 65 dias. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen adaptada ao Brasil (ALVARES, 2013), é do tipo 'AM'. A temperatura média anual é de $25,5^{\circ}\text{C}$, podendo variar de acordo com o período chuvoso, com umidade relativa anual de 79,8% e precipitação anual de 2.417,6 mm (INMET, 2014).



Figura 14: Localização onde foi conduzido o experimento (maps.google.com)

1.2. Coleta, preparo e caracterização do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, zona rural da cidade de Pesqueira ($8^{\circ}34'17''$ de latitude sul, $37^{\circ}01'20''$ de longitude oeste e altitude de 654 m) situada na região semiárida do Nordeste, na Bacia do Alto Ipanema, no estado de Pernambuco.

A coleta foi realizada a uma camada de 0 – 30 cm em um solo classificado como Neossolo Flúvico de acordo com a EMBRAPA (2013). O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado por uma peneira com malha de 4mm, visando a conservação dos micro-agregados.

1.2.1. Caracterização inicial do solo

O solo foi caracterizado inicialmente determinando a sua composição química e física.

Na caracterização física (Tabela 1) determinaram-se a granulometria e a argila dispersa em água na terra fina seca ao ar (TFSA) a partir do método do densímetro; densidade do solo (método da proveta) e de partículas (método do balão volumétrico) (EMBRAPA, 1997). Determinou-se a capacidade de campo (ψ_m : - 0,1 atm) e o ponto de murcha permanente (ψ_m : - 15 atm).

Tabela 6: Caracterização inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento

Variáveis	Valor	
Ds (g cm ⁻³)	1,28	
Dp (g cm ⁻³)	2,52	
Areia (g kg ⁻¹)	Fina	314,99
	Grossa	163,01
	Total	478,01
Silte (g kg ⁻¹)	378,23	
Argila (g kg ⁻¹)	144	
ADA	100	
PT (%)	49,15	
GF (%)	30,56	
GD (%)	69,44	
CC (g g ⁻¹)	0,26	
PMP (g g ⁻¹)	0,05	

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; ADA: argila dispersa em água; GD: Grau de dispersão; GF: Grau de floculação. PT: Porosidade total; GD: (ADA/Argila) *100; GF: (1 – GD) *100. CC: Capacidade de Campo e PMP: Ponto de murcha permanente.

Já no que consiste na caracterização química (Tabela 2) realizou-se, na TFSA, o pH na relação solo:água; os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺) extraídos por acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (THOMAS, 1982). O extrato de saturação foi obtido através do preparo de pasta de saturação (RICHARDS, 1954), a partir do extrato foi avaliado a condutividade elétrica (CE) e o pH. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pelo método de cátion índice (RICHARDS, 1954). A soma de bases (SB) e a percentagem de Sódio trocável (PST) foram calculados a partir dos valores obtidos no complexo sortivo.

Tabela 7: Caracterização química do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento do vaso do experimento conduzido em ambiente protegido.

Variáveis	Valor
Extrato de Saturação	
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	3,2
pH em extrato saturado (pH _{se})	7,9
Complexo de Troca	
pH _{H2O} (1:2,5)	6,5
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	4,35
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	2,73
Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	1,48
K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,77
SB (cmol kg ⁻¹)	9,33
Hidrogênio	1,43
Alumínio	0
CTC (pH 7,0)	10,76
PST (%)	13,75

SB – Soma de bases (SB = Ca + Mg + Na + K); CTC – Capacidade de troca catiônica (CTC = SB + (Al + H)); PST – Porcentual de sódio trocável (PST = (100*Na+)/CTC).

1.3. Cultivar utilizada no experimento

A cultivar de sorgo escolhida foi a IPA 2502, desenvolvida pela Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA-PE). As sementes foram plantadas em vasos com capacidade de 8 L e preenchidos com solo peneirado em malha de 4 mm, tendo na base uma camada de brita 0 e perfurados para eventuais necessidade de drenagem. Em cada vaso foram semeadas 10 sementes. Dois desbastes foram realizados, o primeiro foi aos 12 dias após a semeadura (DAS) e segundo desbaste foi aos 17 DAS, permanecendo uma planta de sorgo por unidade experimental.

A fertilidade do solo foi corrigida de acordo com a necessidade nutricional da planta baseada na recomendação de adubação do sorgo para o estado de Pernambuco (IPA, 2008).

1.4. Manejo da irrigação das plantas

O solo em que as plantas foram cultivadas foi mantido em oitenta por cento (80%) da capacidade de campo, correspondendo a $0,209 \text{ g g}^{-1}$ de umidade gravimétrica. A umidade foi mantida diariamente por meio de pesagens com intuito de repor ao solo a água perdida por evapotranspiração. A água evapotranspirada foi repostada via proveta graduada.

1.5. Confecção das águas para irrigação

A solução salina 2 foi elaborada de acordo com a composição iônica da água do poço artesiano, situado próximo ao local de coleta do solo. A amostra de água foi levada ao laboratório do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) para ser realizada a sua caracterização (Tabela 3).

Tabela 8: Caracterização da água de poço artesiano, localizado na cidade de Pesqueira em Pernambuco, base para a preparação da solução de mistura de sais utilizada na irrigação das plantas de Sorgo Sacarino em ambiente protegido.

Pesqueira – PE (Água do Poço)		
Variáveis	Valor	
Condutividade Elétrica (dS m^{-1})	0,98	
pH	6,6	
	mg L^{-1}	mmolc L^{-1}
Ca^{2+}	27,2	1,36
Mg^{2+}	18,8	1,56
Na^{+}	92,5	4,02
K^{+}	5,8	0,14
Cl^{-}	185	5,21
NO_3^{-}	11,5	0,18
SO_4^{2-}	82	1,78

Análises de água realizadas pelo ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco*

Como forma de preservar as mesmas proporções iônicas para as condutividades elétricas desejadas de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 dS m^{-1} , foram realizados testes em laboratório. Os sais foram pesados (Tabela 4) e diluídos, dando origem as soluções. Cada solução após a diluição completa dos sais foi medida a condutividade elétrica e assim obteve-se os tratamentos utilizados

durante o experimento. A solução 1 foi composta apenas por Cloreto de Sódio (NaCl) e a solução 2 por uma mistura de sais formulada a partir do NaCl, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, MgCl₂, MgSO₄ e KCl.

Tabela 9: Quantidade de sais necessária para a formulação das soluções salinas, com propósito de obter as condutividades elétricas dos tratamentos.

CE (dS m ⁻¹)	Fonte de sais						
	1 (g L ⁻¹)	2 (g L ⁻¹)					
	NaCl	NaCl	CaCl ₂	Ca(NO ₃) ₂	MgCl ₂	MgSO ₄	KCl
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	1,203	0,751	0,229	0,079	0,258	0,402	0,069
5,0	2,773	1,728	0,528	0,181	0,593	0,925	0,159
7,5	4,461	2,950	0,901	0,309	1,012	1,580	0,272
10,0	6,397	4,256	1,300	0,445	1,460	2,279	0,392
12,5	8,372	5,842	1,785	0,612	2,005	3,129	0,538

1 – Solução formulada a partir de Cloreto de Sódio; 2 – Solução formulada a partir da mistura de sais.

Ao 17^o dia após a semeadura (DAS), a irrigação com água salina foi iniciada, preservando o estabelecimento das plantas. A irrigação se deu com o aumento gradativo da salinidade como forma de evitar o choque osmótico no sorgo sacarino. A estabilização dos tratamentos se deu aos 30 DAS, onde todas as unidades experimentais estavam com seu nível de condutividade elétrica correspondente.

As plantas de Sorgo submetidas a condutividade elétrica de 12,5 dS m⁻¹, aos 50 DAS morreram. Já as plantas submetidas a condutividade elétrica de 10 dS m⁻¹ não se apresentaram em condições hábeis de realizar as análises necessárias para a captação dos dados de alguns parâmetros.

1.6. Parâmetros avaliados

1.6.1. Determinação das trocas gasosas em plantas de Sorgo Sacarino (Sorghum bicolor L. Moench)

Aos 60 DAS, com o auxílio do Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo Analyzer LICOR XT6400) (Figura 2), foram determinadas a fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência de uso da água A/E (EUA), e Eficiência

instantânea da carboxilação (A/Ci) (EIC). A captação dos dados foi realizada sob condições ambientais, sem uso de câmara de luz. Para que a análise fosse criteriosa, fixou-se o PAR acima de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, obtendo-se um PAR médio de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.



Figura 2: Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo Analyzer LICOR XT6400). (Fonte: <https://www.licor.com>)

1.6.2. Efluxo de CO₂

A determinação do efluxo de CO₂ foi realizada ao 63 DAS com auxílio de uma Câmara de fluxo de CO₂ (Modelo 6400-09) (Figura 3) acoplada ao IRGA. A leitura se deu com as plantas ainda no vaso, sendo inserido, a uma profundidade de 5 cm o anel de PVC da câmara de efluxo, certificando-se que não havia nenhum espaço entre ela e o solo.



Figura 3: Câmara de efluxo de CO₂ (Modelo 6400-09). (Fonte: <https://www.licor.com>)

1.6.3. Respirometria da biomassa microbiana do solo

A biomassa microbiana foi determinada aos 63 DAS, a partir da metodologia proposta por Grisi (1978). O protocolo consiste em coletar 100 g de solo, colocando em recipiente rosqueável com 15 ml de água destilada. No mesmo pote foi colocado um frasco com 10 ml de Hidróxido de Potássio (0,5 N). Preparou-se três brancos contendo apenas 10 ml de Hidróxido de Potássio (0,5 N). Os respirômetros foram fechados e aplicou-se parafilme para que o CO₂ não escapasse. Durante 15 dias os recipientes foram armazenados mantidos protegidos da luz. Ao final, procedeu-se a titulação com Ácido Clorídrico (0,1 N). Adicionou-se ao conteúdo que estava no frasco respirométrico três gotas de fenolftaleína 1% em etanol para que a solução fique rosa, continuando a titulação com HCl até a transparência da solução. Continuou-se o processo pipetando 3 gotas de alaranjado de metila 0,1% até que surgisse a cor laranja e procedeu-se a titulação até a cor salmão. Os valores obtidos foram aplicados na equação (01).

$$\text{CO}_2 \text{ mg} = [(V_m - V_f)_{\text{amostra}} - (V_m - V_f)_{\text{branco}}] * 5,866 \quad (01)$$

Em que:

V_m – volume anotado após a titulação com alaranjado de metila 0,1%

V_f – volume anotado após a titulação com fenolftaleína 1% em etanol

Ao final foi realizado a correção da umidade com a finalidade de expressar o valor da respiração em base seca.

1.7. Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental em blocos ao acaso, com esquema fatorial 6 x 2, representando seis níveis de sais (0, 2,5; 5; 7,5; 10,0; 12,5 dS m⁻¹) e duas fontes de sais (Cloreto de Sódio-NaCl e Mistura de Sais) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Os dados foram analisados por meio de análise de variância, ajustes de modelo de regressão e teste de comparação de médias ($p < 0,05$). Utilizou-se o software Sisvar 2.0.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Trocas gasosas em plantas de Sorgo Sacarino submetidos a irrigação com soluções salinas

A condutância estomática não apresentou efeito significativa para as fontes de sais. Com o aumento da condutividade elétrica (CE) da água de irrigação a condutância estomática das plantas de sorgo apresentaram redução quando comparadas com a CE 0 dS m⁻¹ (Figura 4). Para a nível mais elevado de condutividade elétrica (10 dS m⁻¹) o decréscimo foi de 95,52% em comparação com a testemunha (0 dS m⁻¹). Para Silva et al. (2014) atribuem o fato da redução na condutância estomática ao efeito do estresse salino nas plantas, onde os indivíduos alteram suas funções fisiológicas como forma de reduzir a absorção de íons tóxicos específicos.

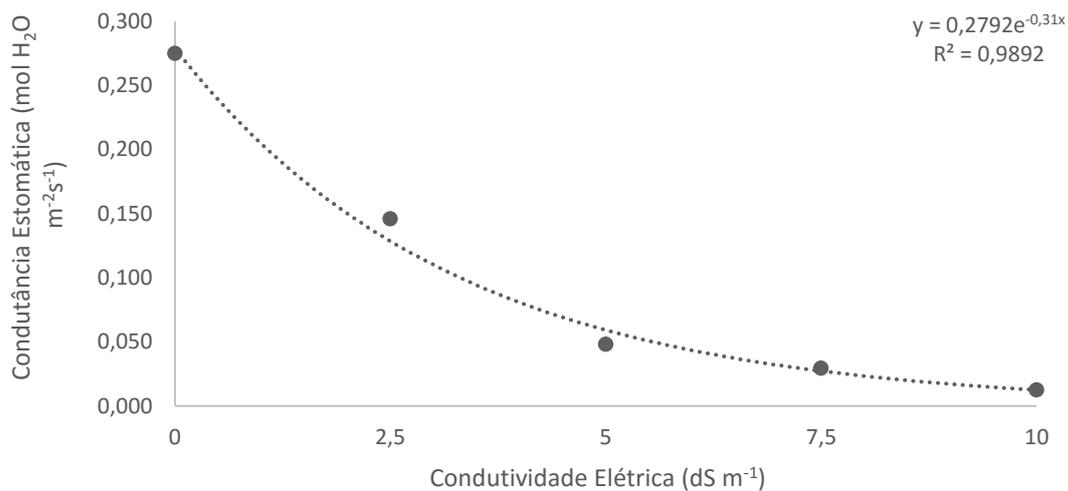


Figura 4: Condutância estomática de plantas de *Sorgo sacarino* submetidos a irrigação com águas de condutividades elétricas crescentes aos 60 DAS.

A salinidade afeta a absorção de água pelas plantas, pois reduz o potencial hídrico da solução externa, por meio do efeito osmótico dos sais solúveis (MUNNS & TESTER, 2008).

A redução da condutância estomática em plantas de sorgo também foi fato observado por Monreal et al. (2013). Em plantas de cana-de-açúcar, a redução da condutância estomática apresenta maior sensibilidade que o potencial hídrico foliar, à medida que o solo diminui a sua umidade (SMIT & SINGLES, 2006; GONÇALVES et al., 2010).

A redução da taxa de assimilação de CO₂ provocada pelo fechamento estomático, está relacionada com a diminuição da taxa fotossintética (TAIZ & ZAIGER, 2009). As plantas de sorgo sacarino reduziram a taxa de fotossíntese com o aumento da salinidade (Figura 5). Vale salientar que, as fontes de sais não interferiram significativamente na taxa fotossintética das plantas de sorgo sacarino. Em comparação com a testemunha (0 dS m⁻¹), a condutividade elétrica de 10 dS m⁻¹ apresentou uma redução de 99,50%, seguido de 98,12%, 92,93%, 73,41% para as condutividades elétricas de 7,5 dS m⁻¹, 5 dS m⁻¹, 2,5 dS m⁻¹, respectivamente.

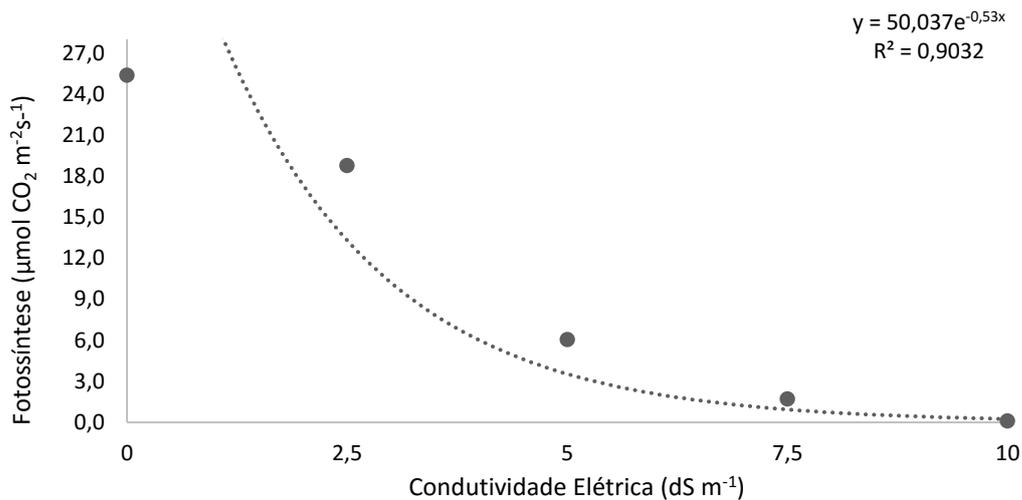


Figura 5: Fotossíntese em plantas de *Sorgo sacarino* submetidas a irrigação com águas de diferentes composições iônicas, aos 60 DAS.

A presença excessiva de sais solúveis pode diminuir o potencial hídrico do solo, tornando-o menor que o potencial da planta e assim desencadeando o processo de seca fisiológica, visto que o vegetal não conseguirá absorver água e nutrientes (MUNNS & TESTER, 2008; DIAS & BLANCO 2010). Essa situação de restrição hídrica acentua os efeitos do estresse salino. Em plantas de milho, a condutância estomática e a fotossíntese reduziram quando submetidos a irrigação com solução salina e déficit hídrico (AZIZIAN & SEPASKHAK, 2014). Fato semelhante foi observado por Shabani et al. (2013) em plantas de colza ou couve-nábiça.

Tanto em situação de restrição hídrica ocasionada pelo déficit hídrico ou pelo estresse salino, o *Sorgo* apresenta reduções em sua fotossíntese (FAN et al., 2016; CHICONATO, 2016). A diminuição da disponibilidade de CO₂ no mesófilo e as limitações no sistema enzimático responsável pela incorporação do CO₂ são situações que podem estar associadas a redução da taxa fotossintética (SILVA et al., 2011).

As plantas halófitas, geralmente possuem o mecanismo de abrir um pouco os estômatos à noite, como forma de melhorar a eficiência da água. Porém, como o sorgo é uma planta C₄ e glicófito, o mecanismo não se faz presente em sua constituição. Entretanto as plantas C₄ possuem maior adaptação em condições adversas, estresse salino e hídrico, que as plantas C₃ (CHICONATO, 2016).

Outro parâmetro afetado nas plantas sob estresse salino é a transpiração. Não houve interação entre as fontes de sais e os níveis crescentes de condutividade elétrica da água de irrigação. Entretanto, observou-se o efeito da salinidade sobre a transpiração, ocorrendo uma redução da transpiração com a elevação da condutividade elétrica (Figura 6). Para as condutividades elétricas mais elevadas, 7,5 dS m⁻¹ e 10 dS m⁻¹, observou-se reduções de 86,19% e 92,86%, respectivamente, quando comparado à testemunha (0 dS m⁻¹). Fato semelhante foi observado por Silva et al. (2002), quando avaliaram dois genótipos de Sorgo sacarino submetidos a irrigação com uma solução de concentração salina de 75 mM de NaCl (~ 7,5 dS m⁻¹). Em plantas de Sorgo Sudão foi encontrado redução da transpiração para tratamento salino com concentração de 100 mM e adição de NO₃⁻ em concentrações de 0,5 mM e 0,8 mM (FEIJÃO et al, 2011).

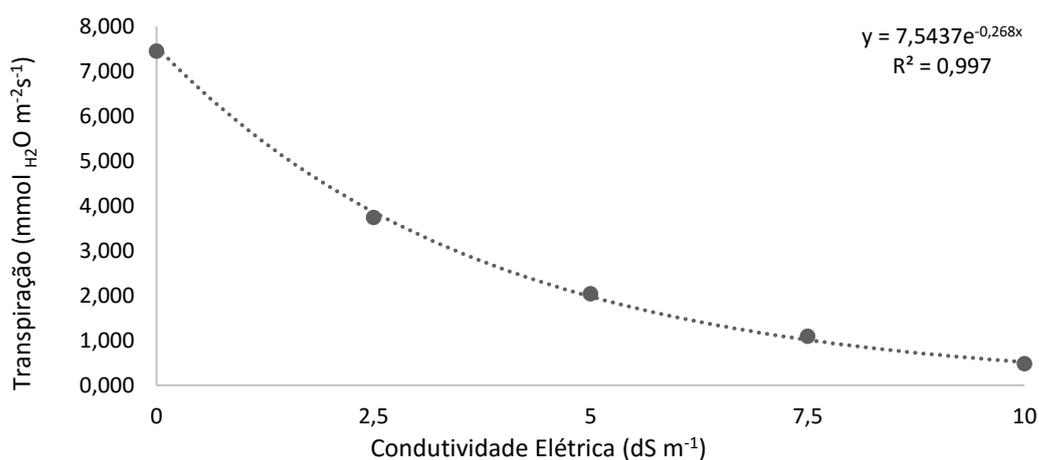


Figura 6: Transpiração em plantas de Sorgo sacarino submetidos a irrigação com água salina aos 60 DAS.

A relação entre a fotossíntese e a transpiração é denominada eficiência do uso da água (EUA). Os valores encontrados relacionam a quantidade de carbono fixada pela planta pela unidade de água perdida para o ambiente (TAIZ & ZEIGER, 2009). Observou-se que a EUA em plantas de sorgo sacarino submetidos a estresse abiótico apresentou interação entre as fontes de sais e o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Com o aumento da salinidade a eficiência do uso de água apresentou decréscimo (Figura 7), exceto para a condutividade elétrica de 2,5 dS m⁻¹, tanto

para a solução de NaCl quanto para a Mistura de sais, que aumentou 22,12% e 25,12% em relação a testemunha, respectivamente.

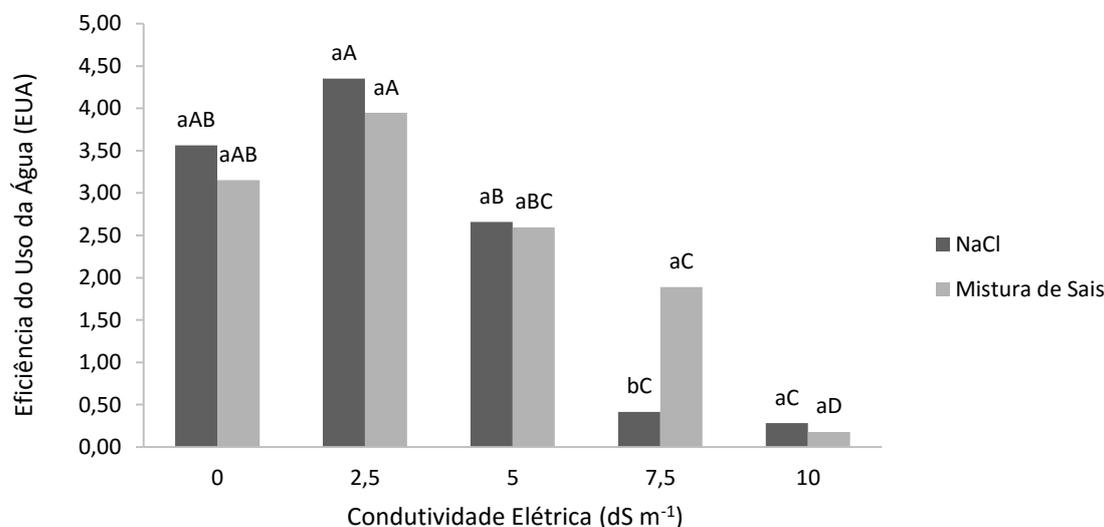


Figura 7: Eficiência no uso da água (EUA) em plantas de *Sorghum saccharino* submetidas a estresse salino, aos 60 DAS. Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Verifica-se, então, que sob estresse hídrico severo a desidratação das células do mesofilo inibe fortemente o seu metabolismo e a fotossíntese, reduzindo-se a EUA (TAIZ & ZEIGER, 2009). Em plantas de Sorgo, Milho e Braquiária observou-se que em máximo estresse as plantas tendem a aumentar a eficiência do uso da água, sendo que o milho apresentou valores maiores quando comparados com as demais espécies usadas no experimento (SANTOS et al., 2014).

A eficiência intrínseca de carboxilação (EIC) apresentou interação entre as fontes de sais e a elevação da condutividade elétrica da água de irrigação, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Tanto para NaCl quanto para a mistura de sais, observou-se redução para a eficiência intrínseca de carboxilação com o aumento da salinidade (Figura 8). Em comparação com a testemunha, o maior nível de condutividade elétrica (10 dS m⁻¹) na solução de NaCl e Mistura de sais apresentaram redução de 95,47% e 95,06%, respectivamente. As médias dos tratamentos apontam para o fato que as plantas de sorgo saccharino submetidas a irrigação com os níveis de condutividade de 0 dS m⁻¹ e 2,5 dS m⁻¹ apresentaram maior eficiência intrínseca de carboxilação que os demais tratamentos salinos.

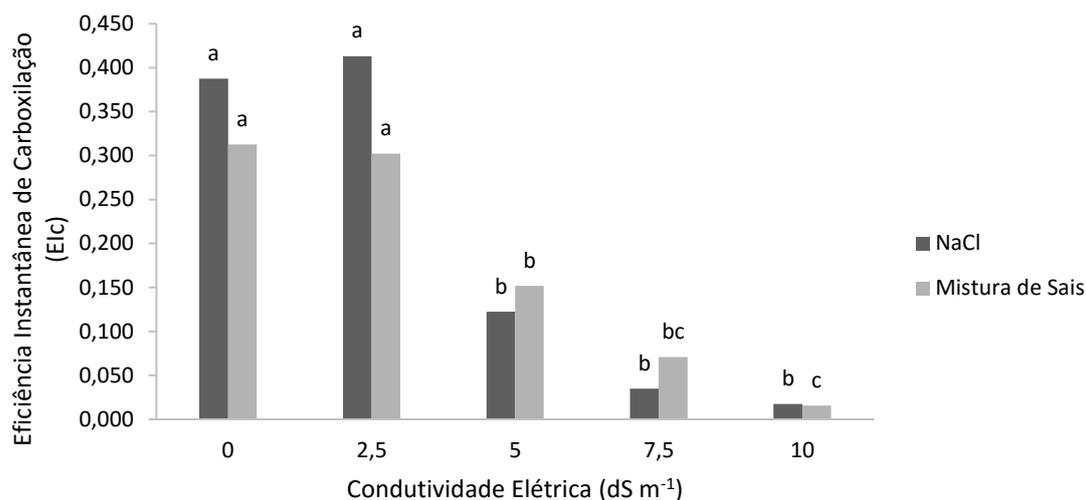


Figura 8: Eficiência Instantânea de Carboxilação de plantas de sorgo sacarino submetidas a estresse abiótico, aos 60 DAS. Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A eficiência instantânea de carboxilação (EIC) relaciona-se com a concentração intracelular de CO₂ e a com a taxa de assimilação de dióxido de carbono (MACHADO et al., 2005). A temperatura ideal onde são obtidos os valores de EIC, situa-se entre 20°C e 30°C, situação próxima a temperatura durante a condução dessas análises na presente pesquisa.

Efluxo de CO₂ e respirometria da biomassa microbiana do solo

O efluxo do solo apresentou efeito significativo apenas para os níveis de salinidade. Observa-se que, com o aumento dos níveis de salinidade o efluxo de CO₂ decresceu 78,23% para a mais elevada condutividade elétrica (12,5 dS m⁻¹) em relação à testemunha (0 dS m⁻¹) (Figura 9).

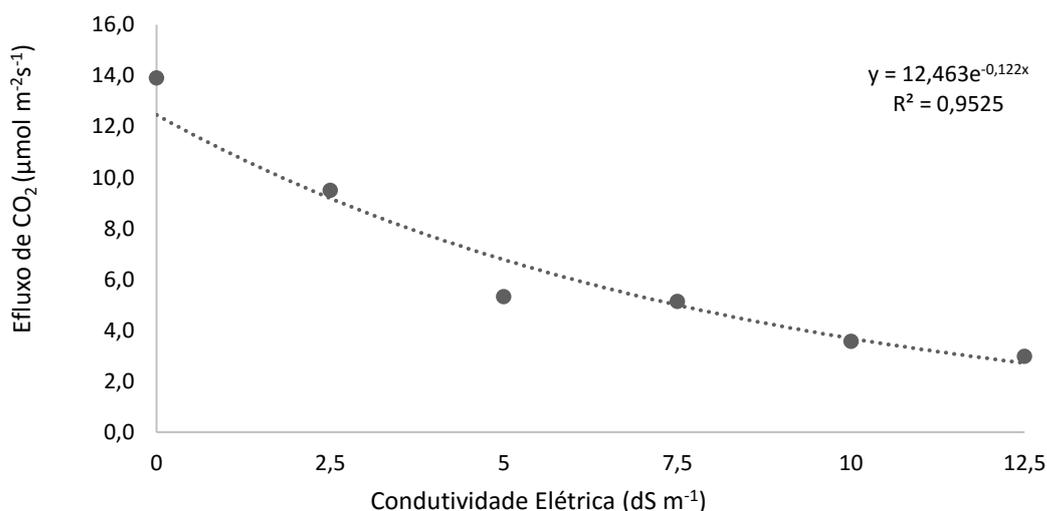


Figura 9: Efluxo de gás carbônico do solo cultivado com plantas de sorgo sacarino e submetido a irrigação com soluções salinas de diferentes composições iônicas, aos 63 DAS.

As práticas agrícolas e a microbiota do solo, tendem a ser fatores determinantes que afetam a emissão de CO₂ do solo (CHODAK et al., 2001; CALDERON & JACKSON, 2002; BORKEN et al., 2002; FARES et al., 2008; ABBAS & FARES, 2009). Para Abbas et al. (2012) ao avaliarem a resposta do milho em solos orgânicos verificaram que quanto maior a biomassa do sistema radicular, a atividade microbiana e a emissão de CO₂ foram elevadas. Situação diferentemente encontrada em solos afetados por sais, visto que a salinidade contribui para a redução do Sistema radicular, que por sua vez diminui a respiração acarretando decréscimo no efluxo de CO₂ (DHINGRA et al., 2014).

A biomassa microbiana é afetada diretamente pela salinidade, principalmente pelo sódio, que causa efeitos negativos diretamente, por pressão osmótica, ou indiretamente, por desordem nutricional (MENDONZA et al., 2013; ANDRADE et al 2016). O pH também é outro fator que interfere na atividade microbiana (BUENO et al., 2011). O forte efeito depressivo sobre a microbiota do solo causa mudanças acentuadas na estrutura da comunidade microbiana, principalmente para microrganismos procariontes, visto que os fungos são seus principais componentes (SARDINHA et al., 2003).

Pode-se definir a respiração microbiana como a absorção de oxigênio e ou liberação de CO₂, resultante das trocas gasosas dos metabolismos aeróbio e anaeróbios de fungos, bactérias, algas e protozoários no solo (GAMA

RODRIGUES & DE POLLI, 2000). A respiração microbiana do solo cultivado com sorgo sacarino e submetido a irrigação com soluções salinas apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) para as fontes de sais e para o aumento na condutividade elétrica da água de irrigação apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Para as fontes de sais observa-se o decréscimo exponencial da respiração microbiana com o aumento da salinidade, apontando para o efeito deletério da salinidade sobre a biomassa microbiana do solo (Figura 10). Para a condutividade elétrica de $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ a respiração da biomassa microbiana apresentou uma redução de 18,12% quando comparada com o solo irrigado com a água de irrigação com condutividade elétrica de 0 dS m^{-1} .

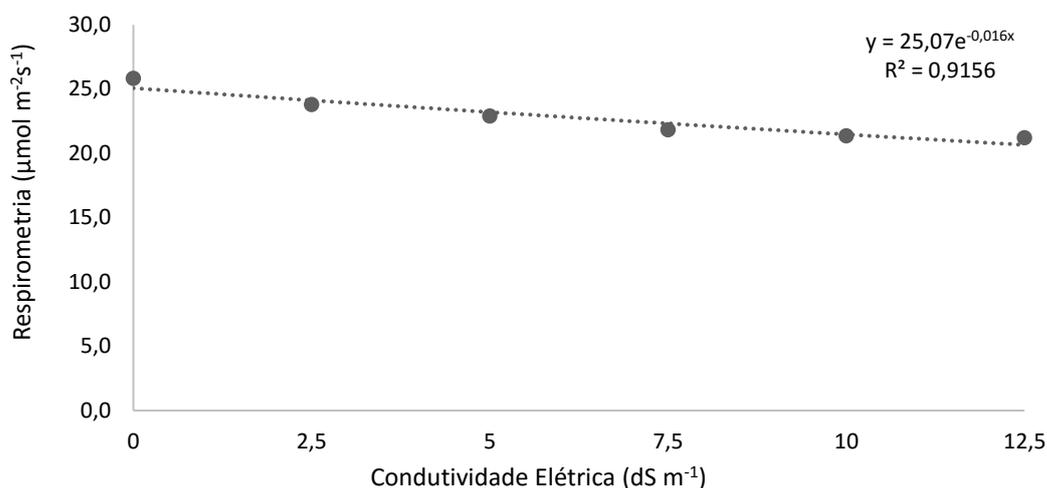


Figura 10: Respirometria da biomassa microbiana em Neossolo Flúvico cultivado com Sorgo Sacarino e submetidos a irrigação com soluções de diferentes composições iônicas, aos 63 DAS.

3. CONCLUSÕES

- As trocas gasosas em plantas de sorgo submetidas ao estresse salino são influenciadas negativamente, apresentando reduções na sua condutância estomática, taxa fotossintética e transpiração.
- Com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, a relação da concentração interna de CO₂ e a fotossíntese sofrem influência, reduzindo a eficiência de carboxilação.
- A eficiência do uso da água pela planta decresce a medida que a condutividade elétrica da água aumenta;
- O efluxo de CO₂ do solo e a respiração da biomassa microbiana, reduziram com o aumento dos níveis de salinidade a que a planta e o solo foram expostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, F. et al. Carbon dioxide emissions from an organically amended tropical soil. *Journal of Sustainable Agriculture*, v. 36, n. 1, p. 3-17, 2012.

ABBAS, F.; FARES, A. Soil organic carbon and carbon dioxide emission from an organically amended Hawaiian tropical soil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 73, n. 3, p. 995-1003, 2009.

ANDRADE, F. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. Atividade microbiana em solos sob doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial. *Ciencia rural*, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016.

ASSIS JÚNIOR, R. N.de ; DA SILVA, E. F. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do município de quixeré, ce-brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 6, p. 1778-1786, 2012.

AZIZIAN, A.; SEPASKHAH, A. R. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: physiological growth parameters and gas exchange. *Int J Plant Prod*, v. 8, n. 1, p. 131-162, 2014.

BORKEN, W.; MUHS, A.; BEESE, F. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. *Soil Biology and biochemistry*, v. 34, n. 3, p. 403-412, 2002.

BUENO, J. R. P. et al. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge¹. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p. 1461-1470, 2011.

CALDERON, F. J.; JACKSON, L. E. Rototillage, Disking, and Subsequent Irrigation. *Journal of Environmental Quality*, v. 31, n. 3, p. 752-758, 2002.

CHICONATO, D. A. Estresse salino em plantas jovens de cana-de-açúcar: respostas bioquímicas e fisiológicas. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista. 2016.

CHODAK, M. et al. Effect of temperature on the mineralization of C and N of fresh and mature compost in sandy material. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 164, n. 3, p. 289-294, 2001.

DHINGRA, Hans R. et al. Effect of salinity stress on morpho-physiological, biochemical and yield characters of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Indian Journal of Plant Physiology*, v. 19, n. 4, p. 393-398, 2014

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, v. 1, p. 129-141, 2010.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Rio de Janeiro, 2013.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997.

FAN, Hai et al. Effect of different potassium levels on the growth and photosynthesis of sweet sorghum seedlings under salt stress. In: *Advances in Energy, Environment and Materials Science: Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Materials Science (EEMS 2015)*, Guangzhou, PR China, August 25-26, 2015. CRC Press, 2016. p. 169.

FARES, Ali et al. Response of selected soil physical and hydrologic properties to manure amendment rates, levels, and types. *Soil science*, v. 173, n. 8, p. 522-533, 2008.

FEIJÃO, A. R. et al. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 675-683, 2011.

FREIRE, Maria B. G. dos S. et al. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 7, n. 2, p. 227-232. 2003.

GAMA-RODRIGUESE. F. & DE-POLLI, H. Biomassa na ciclagem de nutrientes. In: *FERTBIO 2000: Biodinâmica do Solo*, Santa Maria, 2000. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000, v.1. p.1-14.

GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GUIMARÃES, D. P. et al. Estimativa da área foliar de cultivares de milho. In: 24 Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis. Anais... EMBRAPA/CNPMS. 2002. p. 96.

GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. Ciência e Cultura. v.30, n.1, p.82-88, 1978.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. In: BDMEP – Banco Nacional de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2014. Disponível em (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>) Acesso em: Junho de 2016

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2ª aproximação). 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2008. 198p.

LIMA, A. S. et al. Avaliação de parâmetros de salinidade em dois solos submetidos a lâminas crescentes de irrigação com água salina. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 1, p. 154-158, 2012.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2013.

MAY, A. et al. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canais. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2013.

MENDOZA, B. et al. Atributos biológicos de dos suelos de Quibor con aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. Revista Mexicana de Ciências Agrícolas, v. 4, n. 3, p. 409-421, 2013.

MORAIS NETO, L. B. Avaliação temporal do acúmulo de fitomassa e trocas gasosas do capim-canarana em função da salinidade da água de irrigação. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. 74p. (Dissertação Mestrado.)

MONREAL, J. A. et al. Nitric oxide regulation of leaf phosphoenolpyruvate carboxylase-kinase activity: implication in sorghum responses to salinity. *Planta*, v. 238, n. 5, p. 859-869, 2013.

MUNNS, R.; JAMES, R. A.; LÄUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, v. 57, n. 5, p. 1025-1043, 2006.

MUNNS, R.; TESTER, M.. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 651-681, 2008.

MUTISYA, J. et al. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. *Journal of plant physiology*, v. 166, n. 4, p. 428-434, 2009.

RIBAS, P. M. Plantio: a implantação da cultura. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2008

RIBEIRO, M.R. et al. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURTI, N. et al. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.III, 430p, 2003.

RICHARDS, L. A.. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*, v. 78, n. 2, p. 154, 1954.

RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, n. 6, p. 845-854, 2003.

RODRIGUES, J. A. S. et al. Cultivo do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2011.

SANTOS, Orlando Oliveira et al. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. *Bragantia*, v. 73, n. 2, p. 203-212, 2014.

SARDINHA, M. et al. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. *Applied Soil Ecology*, v. 23, n. 3, p. 237-244, 2003.

SHABANI, A.; SEPASKHAH, A. R.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. A. Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit

irrigation, water salinity and planting method. *Int. J. Plant Prod*, v. 7, n. 2, p. 313-340, 2013.

SILVA, E. N. da et al. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Scientia Agricola*, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

SILVA, J. V. et al. Influência do acúmulo de íons sobre o crescimento foliar e as trocas gasosas em plantas de sorgo sob estresse salino. 2002. Disponível em: <<http://sbbq.iq.usp.br/arquivos/regional/2002/cdresumo/Estendido/042.pdf>>.

Acessado em: junho de 2016.

SILVA, L. A. et al. Mecanismos fisiológicos de percepção do estresse salino de híbridos de porta-enxertos citros em cultivo hidropônico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 18, p. S1-S7, 2014.

SHABANI, A.; SEPASKHAH, A. R.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. A. Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *Int. J. Plant Prod*, v. 7, n. 2, p. 313-340, 2013.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

SRINIVASA RAO, P. et al. Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2009. 80p. *Boletim Técnico*, v. 77.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil. 2009. 819p.

THOMAS, G. W. 1982. Exchangeable cation. In: Page A.L. et al. *Method of Soil Analysis, II. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monogram 9, Second Edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. Pp 296-301

TRIPATHI, S. et al. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biology and fertility of soils*, v. 42, n. 3, p. 273-277, 2006.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia biosfera*, v. 6, n. 11, p. 1-23, 2010.

YOUSIF, B. S. et al. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops; New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*). *Int. J. Agric. Biol.*, v. 12, n. 2, 2010.

CAPÍTULO 3

FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM SORGO SACARINO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

MONTEIRO, Danilo R.

RESUMO

A salinidade interfere na membrana dos tilacóides afetando a emissão da fluorescência, além de atuar na ativação da enzima clorofilase que age na degradação dos pigmentos fotossintéticos. Diante do exposto o presente estudo avaliou a fluorescência da clorofila a e os teores foliares de pigmentos fotossintético submetidos a irrigação com água de níveis crescentes de condutividade elétrica. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, durante 65 dias, de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016. O solo utilizado foi proveniente da localidade de Pesqueira-PE, cultivado com sorgo sacarino, cultivar IPA 2502. O solo foi mantido a 80% da capacidade de campo, e a irrigação foi realizada com duas fontes de água (NaCl e Mistura de Sais) ambas com seis níveis de condutividade elétrica (0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, perfazendo um fatorial de 6 x 2 com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Aos 60 DAS, no terço médio das plantas foram avaliados a fluorescência da clorofila a com auxílio de um fluorômetro FluorPen, modelo F100, determinando a intensidade da emissão da fluorescência inicial (F₀), Fluorescência variável (F_v), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica do PSII (F_v/F_m), energia dissipada (ET₀/CR) e Rendimento quântico da energia dissipada (φD₀); na mesma folha foi coletado material fresco, refrigerado e levado para o laboratório para ser quantificada a sua massa fresca e realizado o protocolo para extração dos pigmentos fotossintéticos. Os pigmentos fotossintéticos apresentaram interação significativa entre as fontes de sais e os níveis crescentes de condutividade elétrica. Os teores de clorofila a e b reduzindo com o aumento da condutividade elétrica. Já os carotenoides apresentaram acréscimo em seus teores, quando comparados com a testemunha, com o aumento da salinidade. Para a emissão da fluorescência da clorofila a foi observado interferência negativa com o aumento da salinidade.

Palavras – chave: Clorofila, Salinidade, Fotossíntese.

CHAPTER 3

CHLOROPHYLL A FLUORESCENCE AND PHOTOSYNTHETIC DYE IN SWEET SORGHUM IRRIGATION WITH SALINE WATER

MONTEIRO, Danilo R.

SUMMARY

Salinity affects the membrane of the thylakoid affecting the emission of fluorescence, as well as acting in the activation of chlorophyllase enzyme that acts in the degradation of photosynthetic pigments. Given the above the present study evaluated the fluorescence of chlorophyll and leaf contents of photosynthetic pigments subjected to irrigation with water rising levels of electrical conductivity. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal Rural University of Pernambuco in Recife city, Pernambuco state, during 65 days, from December 2015 to February 2016. The soil used was from locality of the semiarid of Pernambuco, Pesqueira city, cultivated with sorghum cultivar IPA 2502. The soil was maintained at 80% of field capacity, and irrigation was performed with two salt sources (NaCl and Salt Mixture) with two six levels of electric conductivity (0, 2.5, 5, 7.5, 10 e12,5 dS m⁻¹). The experimental design was a randomized block, making a factor of 6 x 2 with 4 replications, totaling 48 experimental units. At 60 DAS, in the middle third of the plants it was evaluated the chlorophyll fluorescence with the aid of a FluorPen fluorometer, model F100, determining the emission intensity of the initial fluorescence (F_0), variable fluorescence (F_v), maximum fluorescence (F_m) quantum efficiency of PSII (F_v/F_m), dissipated energy (ET_0/CR) and quantum yield of the dissipated energy (ϕD_0); on the same sheet was collected fresh material, cooled and taken to the laboratory to be quantified its fresh mass and it was made the protocol for extraction of photosynthetic pigments. The photosynthetic pigments showed a significant interaction between the sources of salts and increasing levels of electrical conductivity. The contents of chlorophyll *a* and *b* reduced with increasing electrical conductivity. In contrast the carotenoid showed an increase in their levels when compared to the control, with increasing salinity. It was observed negative interference in chlorophyll *a* fluorescence with increasing salinity.

Key-words: Chlorophyll, Salinity, Photosynthesis.

INTRODUÇÃO

No semiárido, além da baixa disponibilidade hídrica e elevadas temperaturas, outro fator importante é a salinidade, e o sorgo é caracterizado pela sua moderada resistência a esse agente estressante (NABATI et al., 2013). Fato provavelmente associado a mecanismos como controle no acúmulo de sódio nas folhas, aumento da eficiência do uso da água, ajustamento osmótico associado ao acúmulo de açúcares solúveis, principalmente não redutores, manutenção na síntese e proteção de pigmentos como as clorofilas (COELHO, 2013).

Em todo o mundo mais de 45 milhões de hectares de solos irrigados são afetados por sais e 1,5 milhões de hectares tem sua produção anual comprometida, resultado dos altos níveis de sais no solo (MUNNS & TESTER, 2008).

Segundo Tavakkoli et al. (2011) os principais constituintes iônicos dos sais solúveis do solo são sódio, cálcio, magnésio, cloretos, além de carbonatos e bicarbonatos. De 50 a 80% desses sais solúveis estão na forma de cloreto de sódio (RENGASAMY, 2010). A ação desses sais está diretamente ligada as injúrias no funcionamento do fotossistema II (PSII) (AMBEDE et al., 2012).

A clorofila é o pigmento responsável pela captação da energia luminosa convertendo-a em energia química na forma de Trifosfato de Adenosina (ATP) e Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato (NADPH). Em condições ambientais estressantes, principalmente em plantas sob influência de estresse salino, a enzima clorofilase apresenta correlação com a degradação dos pigmentos fotossintéticos (SHARMA & HALL, 1991; NEVES & SPAT, 2013).

Com a degradação dos pigmentos fotossintéticos também está relacionada a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO's) devido ao aumento da exigência energética, o que reduz a assimilação de CO₂. Essas ERO's desencadeiam o processo de sistema antioxidante, composto por enzimas antioxidantes e outras partículas, como os carotenoides, que protegem a clorofila *a* da peroxidação lipídica (KNOX & DODGE, 1985; MATEO et al., 2004)

Geralmente, a estimativa da fluorescência da clorofila *a* é utilizada como forma de monitoramento da transferência de elétrons (integridade do aparato

fotossintético) frente às adversidades ambientais, tendo em vista que se trata de técnicas rápidas, precisas e não destrutivas (MAXWELL & JOHNSON, 2000; TORRES NETTO et al., 2005; NAJAFPOUR, 2012).

Dessa forma, o estudo de parâmetros fisiológicos como resistência estomática, teores de pigmentos e fluorescência da clorofila a são importantes no esclarecimento de efeitos das condições osmóticas e hídricas sobre a eficiência fotossintética nas plantas (MELO et al., 2010).

O sorgo apresenta uma moderada tolerância a salinidade, se baseando na adaptação dos seus mecanismos morfo-fisiológicos, como a eficiência do uso da água e na manutenção e síntese dos pigmentos fotossintéticos (COELHO, 2013).

Essa planta pertencente à família *Poaceae*, provavelmente teve origem na África (RIBAS, 2014). O dado mais antigo sobre a cultura do sorgo advém de uma escultura assíria do ano 700 a.C. Porém a sua domesticação, segundo registros arqueológicos, data por volta de 3000 a.C., à medida que a prática da domesticação de outros cereais era introduzida no Egito (OLIVEIRA, 2014).

O sorgo é o quinto cereal mais produzido mundialmente. Segundo a USDA (UNITED STATES DEVELOPMENT OF AGRICULTURE) a safra 2014/2015 nos Estados Unidos, maior produtor mundial, foi de aproximadamente 10 mil toneladas de sorgo. No Brasil, em 30 anos, a área plantada apresentou uma variação de 412%, para a safra 2014/2015 a área plantada foi de 796 mil hectares (CONAB, 2015).

Em países em desenvolvimento, 500 milhões de pessoas se utilizam dessa planta como fonte energética, alcançando a marca de 70% da ingestão calórica diária (MUTISYA, 2009). Além de ser utilizada para o consumo humano, o sorgo é amplamente aplicado a dieta de animais, não trazendo alterações sobre a engorda desses animais (BENZ et al., 2011).

Com o aumento da demanda de alimentos e de energia pela população, as áreas de produção também apresentam ampliações. A cada dia os insumos produtivos se tornam escassos, como é o exemplo da água, fazendo-se necessário o uso de água de qualidade inferior, principalmente águas com excesso de sais. Tanto para o solo como para as plantas o excesso de íons

específicos, como o Na^+ , podem trazer efeitos deletérios. Dessa forma, com esse trabalho objetivou avaliar os teores dos pigmentos fotossintéticos foliares e a fluorescência da clorofila a em plantas de sorgo submetidas a irrigação com soluções salina de diferentes composições iônicas e níveis crescentes de condutividade elétrica.

1. MATERIAL E MÉTODOS

1.1. Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (Figura 1) na Universidade Federal Rural de Pernambuco, campus Recife – PE ($8^{\circ}04'03''$ de latitude sul, $34^{\circ}55'00''$ de longitude oeste e altitude de 4 m), no período de 22 de dezembro de 2015 a 25 de fevereiro de 2016, totalizando 65 dias. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen adaptada ao Brasil (ALVARES, 2013), é do tipo 'AM'. A temperatura média anual é de $25,5^{\circ}\text{C}$, podendo variar de acordo com o período chuvoso, com umidade relativa anual de 79,8% e precipitação anual de 2.417,6 mm (INMET, 2014).



Figura 15: Localização onde foi conduzido o experimento (maps.google.com)

1.2. Coleta, preparo e caracterização do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, zona rural da cidade de Pesqueira ($8^{\circ}34'17''$ de latitude sul, $37^{\circ}01'20''$ de longitude oeste e altitude de 654 m) situada na região semiárida do Nordeste, na Bacia do Alto Ipanema, no estado de Pernambuco.

A coleta foi realizada a uma camada de 0 – 30 cm em um solo classificado como Neossolo Flúvico de acordo com a EMBRAPA (2013). O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado por uma peneira com malha de 4mm, visando a conservação dos micro-agregados.

1.2.1. Caracterização inicial do solo

O solo foi caracterizado inicialmente determinando a sua composição química e física.

Na caracterização física (Tabela 1) determinaram-se a granulometria e a argila dispersa em água na terra fina seca ao ar (TFSA) a partir do método do densímetro; densidade do solo (método da proveta) e de partículas (método do balão volumétrico) (EMBRAPA, 1997). Determinou-se a capacidade de campo (ψ_m : - 0,1 atm) e o ponto de murcha permanente (ψ_m : - 15 atm).

Tabela 10: Caracterização inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento

Variáveis	Valor	
Ds (g cm ⁻³)	1,28	
Dp (g cm ⁻³)	2,52	
Areia (g kg ⁻¹)	Fina	314,99
	Grossa	163,01
	Total	478,01
Silte (g kg ⁻¹)	378,23	
Argila (g kg ⁻¹)	144	
ADA	100	
PT (%)	49,15	
GF (%)	30,56	
GD (%)	69,44	
CC (g g ⁻¹)	0,26	
PMP (g g ⁻¹)	0,05	

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; ADA: argila dispersa em água; GD: Grau de dispersão; GF: Grau de floculação. PT: Porosidade total; GD: (ADA/Argila) *100; GF: (1 – GD) *100. CC: Capacidade de Campo e PMP: Ponto de murcha permanente.

Já no que consiste na caracterização química (Tabela 2) realizou-se, na TFSA, o pH na relação solo:água; os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺) extraídos por acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (THOMAS, 1982). O extrato de saturação foi obtido através do preparo de pasta de saturação (RICHARDS, 1954), a partir do extrato foi avaliado a condutividade elétrica (CE) e o pH. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pelo método de cátion índice (RICHARDS, 1954). A soma de bases (SB) e a percentagem de Sódio trocável (PST) foram calculados a partir dos valores obtidos no complexo sortivo.

Tabela 11: Caracterização química do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento do vaso do experimento conduzido em ambiente protegido.

Variáveis	Valor
Extrato de Saturação	
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	3,2
pH em extrato saturado (pH _{se})	7,9
Complexo de Troca	
pH _{H2O} (1:2,5)	6,5
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	4,35
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	2,73
Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	1,48
K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,77
SB (cmol kg ⁻¹)	9,33
Hidrogênio	1,43
Alumínio	0
CTC (pH 7,0)	10,76
PST (%)	13,75

SB – Soma de bases (SB = Ca + Mg + Na + K); CTC – Capacidade de troca catiônica (CTC = SB + (Al + H)); PST – Porcentual de sódio trocável (PST = (100*Na+)/CTC).

1.3. Cultivar utilizada no experimento

A cultivar de sorgo escolhida foi a IPA 2502, desenvolvida pela Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA-PE). As sementes foram plantadas em vasos com capacidade de 8 L e preenchidos com solo peneirado em malha de 4 mm, tendo na base uma camada de brita 0 e perfurados para eventuais necessidade de drenagem. Em cada vaso foram semeadas 10 sementes. Dois desbastes foram realizados, o primeiro foi aos 12 dias após a semeadura (DAS) e segundo desbaste foi aos 17 DAS, permanecendo uma planta de sorgo por unidade experimental.

A fertilidade do solo foi corrigida de acordo com a necessidade nutricional da planta baseada na recomendação de adubação do sorgo para o estado de Pernambuco (IPA, 2008).

1.4. Manejo da irrigação das plantas

O solo em que as plantas foram cultivadas foi mantido em oitenta por cento (80%) da capacidade de campo, correspondendo a $0,209 \text{ g g}^{-1}$ de umidade gravimétrica. A umidade foi mantida diariamente por meio de pesagens com intuito de repor ao solo a água perdida por evapotranspiração. A água evapotranspirada foi repostada via proveta graduada.

1.5. Confecção das águas para irrigação

A solução salina 2 foi elaborada de acordo com a composição iônica da água do poço artesiano, situado próximo ao local de coleta do solo. A amostra de água foi levada ao laboratório do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) para ser realizada a sua caracterização (Tabela 3).

Tabela 12: Caracterização da água de poço artesiano, localizado na cidade de Pesqueira em Pernambuco, base para a preparação da solução de mistura de sais utilizada na irrigação das plantas de Sorgo Sacarino em ambiente protegido.

Pesqueira – PE (Água do Poço)		
Variáveis	Valor	
Condutividade Elétrica (dS m^{-1})	0,98	
pH	6,6	
	mg L^{-1}	mmolc L^{-1}
Ca^{2+}	27,2	1,36
Mg^{2+}	18,8	1,56
Na^{+}	92,5	4,02
K^{+}	5,8	0,14
Cl^{-}	185	5,21
NO_3^{-}	11,5	0,18
SO_4^{2-}	82	1,78

Análises de água realizadas pelo ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco*

Como forma de preservar as mesmas proporções iônicas para as condutividades elétricas desejadas de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 dS m^{-1} , foram realizados testes em laboratório. Os sais foram pesados (Tabela 4) e diluídos, dando origem as soluções. Cada solução após a diluição completa dos sais foi medida a condutividade elétrica e assim obteve-se os tratamentos utilizados

durante o experimento. A solução 1 foi composta apenas por Cloreto de Sódio (NaCl) e a solução 2 por uma mistura de sais formulada a partir do NaCl, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, MgCl₂, MgSO₄ e KCl.

Tabela 13: Quantidade de sais necessária para a formulação das soluções salinas, com propósito de obter as condutividades elétricas dos tratamentos.

CE (dS m ⁻¹)	Fonte de sais						
	1 (g L ⁻¹)	2 (g L ⁻¹)					
	NaCl	NaCl	CaCl ₂	Ca(NO ₃) ₂	MgCl ₂	MgSO ₄	KCl
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	1,203	0,751	0,229	0,079	0,258	0,402	0,069
5,0	2,773	1,728	0,528	0,181	0,593	0,925	0,159
7,5	4,461	2,950	0,901	0,309	1,012	1,580	0,272
10,0	6,397	4,256	1,300	0,445	1,460	2,279	0,392
12,5	8,372	5,842	1,785	0,612	2,005	3,129	0,538

1 – Solução formulada a partir de Cloreto de Sódio; 2 – Solução formulada a partir da mistura de sais.

Ao 17º dia após a semeadura (DAS), a irrigação com água salina foi iniciada, preservando o estabelecimento das plantas. A irrigação se deu com o aumento gradativo da salinidade como forma de evitar o choque osmótico no sorgo sacarino. A estabilização dos tratamentos se deu aos 30 DAS, onde todas as unidades experimentais estavam com seu nível de condutividade elétrica correspondente.

As plantas de Sorgo submetidas a condutividade elétrica de 12,5 dS m⁻¹, aos 50 DAS morreram. Já as plantas submetidas a condutividade elétrica de 10,0 dS m⁻¹ não se apresentaram em condições hábeis de realizar as análises necessárias para a captação dos dados de alguns parâmetros.

1.6. Parâmetros avaliados

1.6.1. Fluorescência transiente da clorofila a

Aos 60 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a avaliação da fluorescência da clorofila a, com auxílio do fluorômetro FluorPen, modelo F100 (Photon Systems Instruments). As medições foram realizadas a partir da segunda folha superior totalmente expandida e saudável. As folhas, não

destacadas, passaram por adaptação ao escuro por 30 minutos, com auxílio de pinças, para total oxidação do sistema fotossintético de transporte de elétrons.

O comportamento das curvas foi descrito pelo teste JIP, detalhando a cinética da clorofila a. Observou-se as variáveis que fornecem informações estruturais e funcionais do FSII (Tabela 5) (STRASSER & STRASSER, 1995).

Tabela 5: Resumo dos parâmetros, fórmulas e sua descrição com dados extraídos de fluorescência da clorofila (STRASSER e STRASSER, 1995).

Parâmetros	Fórmulas	Descrição
Ft		Intensidade da fluorescência no tempo t após início da iluminação actínica
Fo	$F_1 = F_{50\mu s}$	Intensidade de fluorescência mínima a 50 μs
Fm		Fluorescência máxima no passo P
Fv = Fm - Fo		Fluorescência variável
Fv/Fm		Rendimento quântico máximo fotoquímico primário em t = 0
ΦP_o	$1 - F_o/F_m$	Rendimento quântico fotoquímico máximo do FS II
ΔR_o	$\delta R_o = (1-VI)/(1-VJ)$	Capacidade dos elétrons se moverem dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FS I
ΦE_o	$(1-F_o/F_m)(1-VJ)$	Rendimento quântico do transporte de elétron (ET)
ABS/RC	$M_o \times (1/VJ) \times (1/\phi P_o)$	Fluxo de absorção por CR
ETo/RC	$(M_o/VJ) \times (1 - VJ)$	Fluxo de transporte de elétrons por CR
DIo/RC	ABS/RC - TRo/RC	Fluxo de energia dissipada por CR
REo/RC	$M_o (1 / VJ) \phi E_o \delta R_o$	Fluxo de redução de elétrons nos aceptores finais do FS I por CR
PI ABS	$(\gamma_{RC} / 1 - \gamma_{RC}) \cdot (\phi P_o / 1 - \phi P_o) \cdot (\phi E_o / 1 - \phi E_o)$	Potencial para a conservação de energia para a redução de receptores de elétrons do intersistema
PI Total	PIABS . $(\delta R_o / 1 - \delta R_o)$	Potencial para a conservação de energia para a redução de receptores finais do FS I

1.6.2. Extração dos pigmentos fotossintéticos

A extração química e a determinação dos teores de clorofilas a, b, e dos carotenoides seguiram a metodologia descrita por Lichtenthaler & Buschmann (2001). Que consiste no corte da folha em pequenos pedaços, após esse processo foi pipetado 10ml de álcool etílico 95%, sendo a solução (álcool etílico

+ folhas) colocada em frascos totalmente protegidos de luminosidade, pelo período de 48 horas. Completado o período de repouso as amostras foram submetidas a leitura em espectrofotômetro de bancada. Os dados obtidos foram aplicados nas equações (01), (02) e (03) para quantificação dos teores de pigmentos fotossintetizantes na folha de sorgo sacarino, a partir do comprimento de onda para cada pigmento.

$$Ca (\mu g ml^{-1}) = 13,36 A_{664,1} - 0,97 A_{648,6} \quad (01)$$

$$Cb (\mu g ml^{-1}) = 16,36 A_{648,6} - 2,43 A_{664,1} \quad (02)$$

$$C_{(x+b)} = \frac{100 A_{647} - 1,43 Ca - 35,87 Cb}{209} \quad (03)$$

Onde:

Ca – Teor foliar de Clorofila *a*;

Cb – Teor foliar de Clorofila *b*;

C(x+b) – Teor foliar de carotenoides;

$A_{664,1}$ – Valores obtidos no espectrofotômetro no comprimento de onda de 664,1nm;

$A_{648,6}$ – Valor obtido no espectrofotômetro no comprimento de onda de 648,6nm;

A_{647} – Valor obtido no espectrofotômetro no comprimento de onda de 647nm.

1.7. Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental em blocos ao acaso, com esquema fatorial 6 x 2, representando seis níveis de sais (0, 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 dS m⁻¹) e duas fontes de sais (Cloreto de Sódio-NaCl e Mistura de Sais) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Os dados foram analisados por meio de análise de variância, ajustes de modelo de regressão e teste de comparação de médias (p<0,05). Utilizou-se o software Sisvar 2.0.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores foliares dos pigmentos fotossintéticos

Com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação as plantas de sorgo responderam reduzindo os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides em relação a testemunha (Tabela 6). Houve interação significativa a 1% ($p < 0,01$) entre as fontes de sais e os níveis crescentes de condutividade elétrica. Observou-se decréscimo dos teores foliares de clorofila *a* (*Cl_a*), exceto para o tratamento de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ que apresentou acréscimo de 28,25%, para a solução mistura de sais, em relação a testemunha (0 dS m^{-1}). Os decréscimos mais acentuados foram observados para a condutividade elétrica de 10 dS m^{-1} , 70,66%, na solução de NaCl e para a condutividade elétrica de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$, 68,14%, para a solução de mistura de sais.

Os teores de clorofila *b* (*Cl_b*) apresentaram comportamento semelhante ao da clorofila *a* (*Cl_a*), onde foi observado interação significativa a 5% ($p < 0,05$). Aos 60 DAS, houve decréscimo desses teores foliares de *Cl_b* com o aumento da condutividade elétrica (CE) das soluções. Para o teste de médias não houve diferença entre os tratamentos, exceto para o último nível de salinidade (10 dS m^{-1}) da solução de NaCl e para a condutividade elétrica $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ da solução de mistura de sais, que apresentaram um decréscimo de 41,10% e 54,45%

Houve interação significativa a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) entre as fontes de sais e os níveis de condutividade elétrica das soluções, para os teores foliares de carotenoides. Os carotenoides apresentaram redução em 35,27% seu teor para a condutividade elétrica de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ na solução de mistura de sais. Porém para as demais condutividades elétricas foi observado acréscimo de 30,98% ($2,5 \text{ dS m}^{-1}$), 0,05% (5 dS m^{-1}) e 0,69% (10 dS m^{-1}), quando comparadas com a testemunha (0 dS m^{-1}). Para solução de NaCl os teores de carotenoides reduziram com a elevação das condutividades elétricas, atingindo um decréscimo de 40,43% para a condutividade elétrica de 10 dS m^{-1} , quando comparados com a testemunha (0 dS m^{-1})

Tabela 6: Teores foliares de clorofila a, b e carotenóides, em sorgo sacarino irrigado com soluções salinas com níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) aos 60 dias após a semeadura (DAS).

Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	Clorofila a		Clorofila B		Carotenóides	
	(mg g ⁻¹)		(mg g ⁻¹)		(mg g ⁻¹)	
	NaCl	Mistura de Sais	NaCl	Mistura de Sais	NaCl	Mistura de Sais
0	1,6448 aA	1,3199 aAB	0,3705 aA	0,3489 aBC	0,6076 aA	0,5038 bB
2,5	1,4753 aA	1,6929 aA	0,4061 bA	0,6483 aA	0,5190 bAB	0,6599 aA
5	1,2216 aAB	1,2912 aAB	0,3411 aA	0,3612 aB	0,5106 aAB	0,5041 aB
7,5	0,8931 aB	0,4205 bC	0,2837 aA	0,1589 aC	0,4357 aBC	0,3261 bC
10	0,4825 bC	1,0052 aB	0,2182 aA	0,2604 aBC	0,3619 bC	0,5073 aB
CV (%)	17,22		23,02		10,01	

Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os pigmentos fotossintéticos são responsáveis pela captura do fóton de luz e transmissão de energia para os centros de reação. Em condições estressantes esses pigmentos são afetados diretamente e à medida que o estresse progride, alterações bioquímicas podem limitar a atividade fotossintética mais diretamente, resultando em danos oxidativos nas células (VIANA et al., 2002).

Com o incremento de NaCl na água de irrigação, ocorre a ativação da enzima clorofilase em plantas estressadas, sendo apontada como o principal fator ligado a redução dos conteúdos de pigmentos fotossintéticos (SHARMA & HALL, 1991; NEVES & SPAT., 2013).

Deve-se ressaltar também que a degradação dos pigmentos fotossintéticos pode estar ligada a estimulação da produção de ERO's, geralmente formadas com o aumento da exigência de energia de excitação, que por sua vez implicam na redução da assimilação de CO₂ devido a redução da condutância estomática (MATEO et al., 2004). Assim sendo, como forma de resistir a citotoxicidade, as plantas desenvolvem um sistema antioxidante de

proteção incluindo pequenas moléculas como os flavonoides e carotenoides, além de enzima antioxidantes (RESENDE, 2011).

Os carotenoides possuem um papel importante na proteção do pigmento clorofila sob condições de estresse e são conhecidos por manter as reações fotodinâmicas, protegendo a clorofila da peroxidação lipídica e impedindo o colapso da membrana dos cloroplastos (KNOX & DODGE, 1985).

Ao estudarem genótipos de sorgo e sua resposta a soluções com concentração de 100 mM de NaCl, Lacerda et al., (2003) observaram redução nos teores de clorofila na ordem de 32 a 52% para o genótipo sensível e 19 a 27% para o genótipo tolerante a salinidade. Moura et al. (2009) em estudo com plantas de sorgo sob estresse oxidativo provocado por alumínio, perceberam redução de 49,33% e 43,65% no teor de clorofila *a* e *b* respectivamente em relação às plantas controle.

Em plantas de cana-de-açúcar submetidas a irrigação com soluções apresentando concentração salina de 200 mM ($\sim 20\text{dS m}^{-1}$) de NaCl, observou-se decréscimo nos teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides na ordem de 68,9%, 70%, 49,8%, respectivamente a concentração 0 mM (BARRETO et al., 2013). Viana et al. (2002) encontraram em plantas de milho submetidas ao estresse hídrico redução mais acentuada nos teores de clorofila *a*. Reduções dos teores de pigmentos fotossintéticos acima de 50% foram percebidas em cultivares de arroz irrigadas com soluções salinas com concentrações entre 0 mM e 150 mM ($\sim 15\text{ dS m}^{-1}$) de NaCl (NEVES & SPAT, 2013).

Ao se relacionar o teor foliar de clorofila *a* com o teor foliar de clorofila *b*, foi observada diferença significativa entre os fatores ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Com o aumento da condutividade elétrica das soluções salinas a relação clorofila *a* e clorofila *b* sofreram decréscimo (Figura 2). Os maiores decréscimos, quando comparados com a testemunha (0 dS m^{-1}) foram observados para as CE's de 10 dS m^{-1} (NaCl) e $7,5\text{ dS m}^{-1}$ (Mistura de sais), compreendendo valores na ordem de 51,15% e 29,37%.

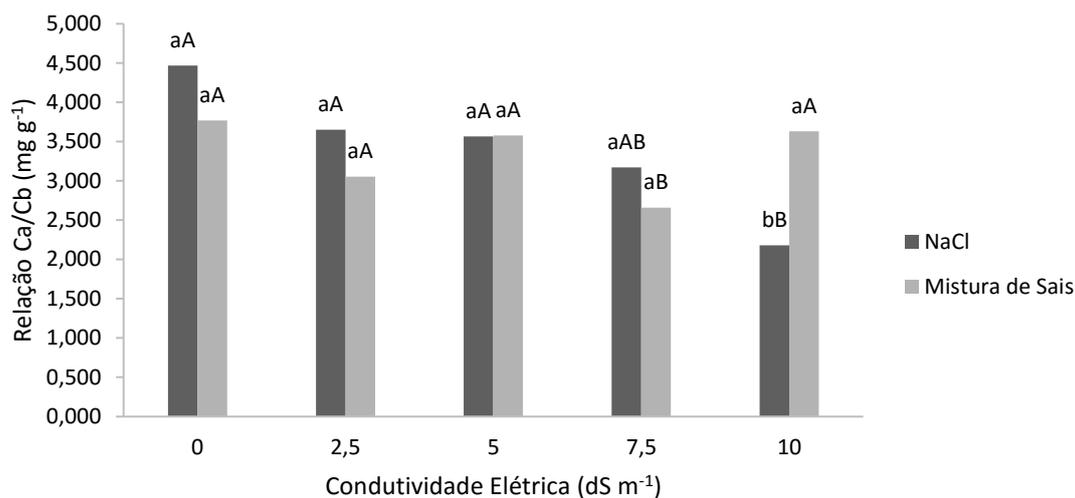


Figura 2: Relação entre os teores de clorofila a e clorofila b, em folhas de sorgo sacarino irrigado com soluções salinas com níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) aos 60 DAS. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Mutava et al. (2011) ao identificarem características fisiológicas de mais de 300 genótipos de sorgo tolerantes a estresses abióticos concluíram que o teor de clorofila varia de acordo com a variedade. Em estudo com 6 cultivares de arroz sob condições estressante, Cancellier et al. (2011) encontraram redução na relação clorofila a/b. Estes autores consideram que cultivares que apresentam menores relações de clorofila a e clorofila b são mais eficientes na captação da luz, desde que esta diminuição não seja pela redução da clorofila a. Fato diferentemente observado por esse estudo, onde percebe-se reduções da clorofila a superiores as reduções na clorofila b. Para Silva et al. (2014) ao estudarem cultivares de cana-de-açúcar sob déficit hídrico observaram a redução da relação clorofila a/b em 22,2% em relação a testemunha.

Fluorescência da clorofila a em folhas de Sorgo sacarino sob estresse salino

Não foi observado diferença significativa para as fontes de sais. Já os níveis crescentes de condutividade elétrica, observou-se diferença significativa a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Para a emissão da fluorescência inicial (F_0). Aos 60 DAS, observou-se que a emissão da fluorescência inicial das plantas de sorgo

sacarino apresentou aumento com a elevação da condutividade elétrica da irrigação (Figura 3). A condutividade elétrica de 10 dS m⁻¹ foi o nível correspondente mais expressivo em comparação aos demais, com incremento de 60,43%.

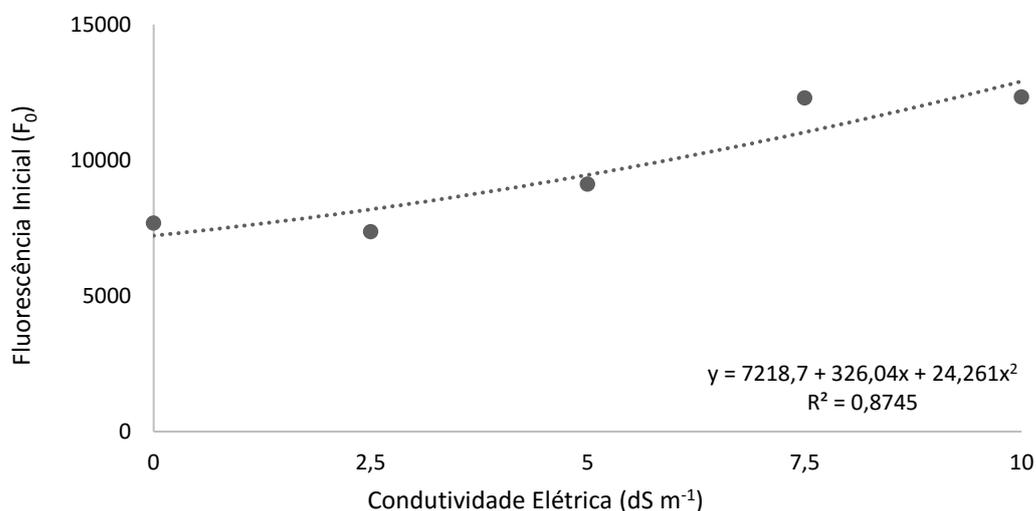


Figura 3: Fluorescência inicial em plantas de sorgo submetidas a estresse salino aos 60 DAS.

A fluorescência inicial explica a emissão da fluorescência quando a quinona receptora primária de elétrons (QA) do fotossistema II (PSII) está totalmente oxidada e o centro de reação (P680) está aberto, indicando ativação das reações fotoquímicas (BAKER & ROSENQVST, 2004). Em estudo com sorgo e salinidade, a emissão da fluorescência inicial (F₀) apresentou incremento com a elevação da condutividade elétrica (NABATI et al., 2013). O incremento na F₀ em plantas submetidas a algum tipo de estresse, pode estar relacionado ao aumento da espessura das folhas (MUNNS & TESTER, 2008), espessamento este devido a peroxidação lipídica por espécies reativas de oxigênio (YAMANE et al., 2008)

A emissão da fluorescência variável (F_v) apresentou diferença significativa a 1% (p<0,01) de probabilidade para os níveis de condutividade elétrica. Com a elevação da condutividade elétrica da água de irrigação a emissão da fluorescência variável sofreu decréscimo (Figura 4). Para o mais alto nível correspondente a condutividade elétrica de 10 dS m⁻¹ o decréscimo observado foi da ordem de 53%.

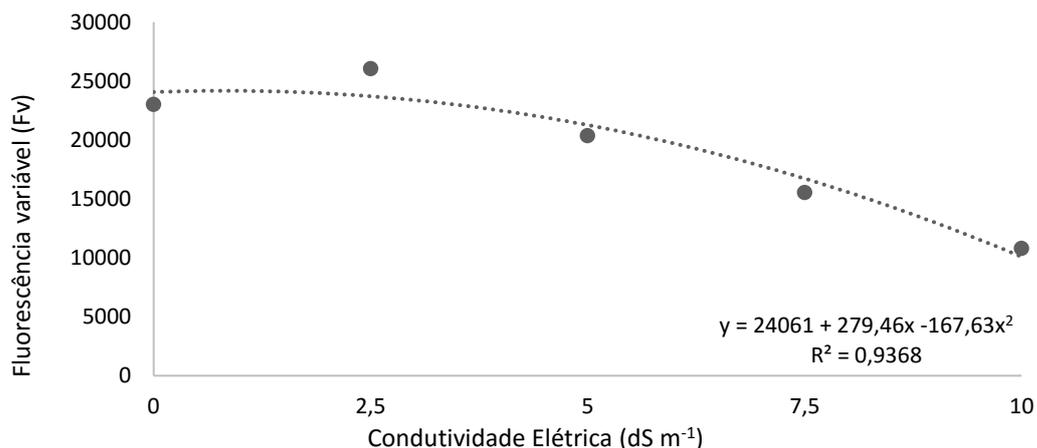


Figura 4: Fluorescência variável de plantas de sorgo sacarino sob condições de estresse salino aos 60 DAS.

Observou-se que para a emissão máxima da fluorescência (F_m) houve diferença significativa a 5% ($p < 0,05$) para os níveis de condutividade elétrica. Com o aumento desses níveis as plantas de sorgo sofreram redução na emissão da fluorescência máxima (Figura 5). Apenas o nível correspondente a condutividade elétrica de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ foi observado acréscimo, em comparação com a testemunha (0 dS m^{-1}), na ordem de 1,84%. Já para as demais condutividades elétricas foi observado redução de 1,78% (5 dS m^{-1}), 11,26% ($7,5 \text{ dS m}^{-1}$), 24,63% (10 dS m^{-1}).

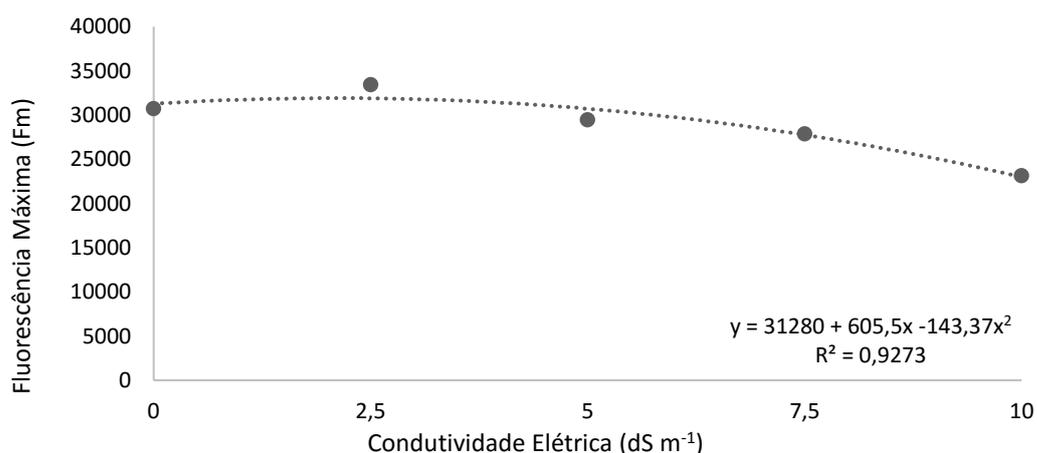


Figura 5: Fluorescência máxima (F_m) em plantas de sorgo sacarino sob condições de estresse salino aos 60 DAS.

A emissão da fluorescência máxima é o indicador que representa a intensidade máxima da fluorescência, quando praticamente toda a quinona é reduzida e os centros de reação atingem sua capacidade máxima de reações fotoquímicas (BAKER & ROSENQVIST, 2004; SILVA et al., 2015).

Segundo Nabati et al. (2013) plantas de sorgo submetidas a irrigação com níveis crescentes de condutividade elétrica (5,2; 10,5; 23,1 dS m⁻¹) apresentaram redução da F_m com a elevação da salinidade. Ainda nesse estudo, afirmam que o decréscimo na fluorescência máxima está relacionado com a fotoinibição provocada pelo estresse salino.

A eficiência quântica do PSII (F_v/F_m) apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade (p<0,01) para os níveis de condutividade elétrica aos 60 DAS. Para o mesmo período não houve diferença significativa para as fontes de sais. As plantas de sorgo sacarino reduziram a eficiência quântica do PSII com a elevação dos níveis de salinidade (Figura 6), apresentando reduções na ordem de 9,84%, 31,12% e 63,29%, respectivamente para as condutividades elétricas de 5 dS m⁻¹, 7,5 dS m⁻¹ e 10 dS m⁻¹. Observou-se incremento, em relação a testemunha (0 dS m⁻¹), na relação F_v/F_m para o nível de 2,5 dS m⁻¹ na ordem de 5,27%.

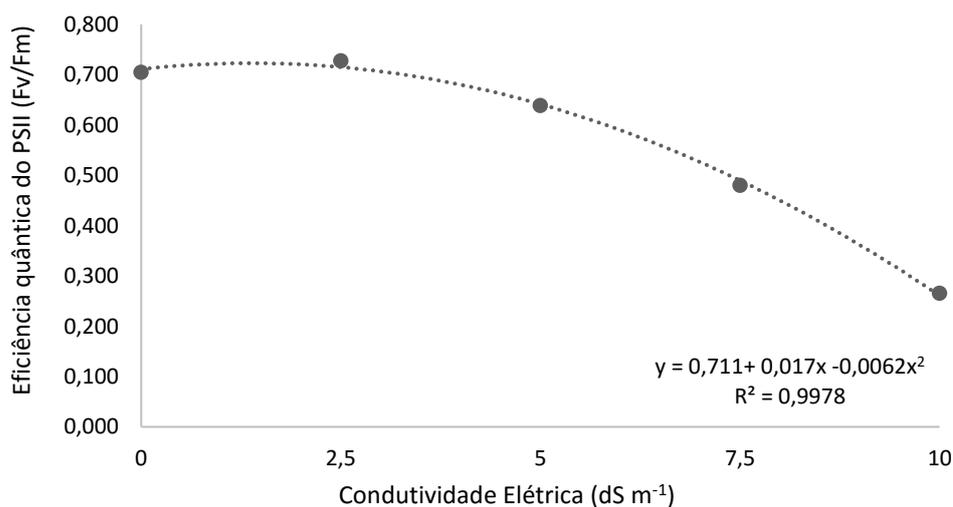


Figura 6: Eficiência quântica do fotossistema 2 (PSII) aos 60 DAS, em plantas de sorgo sacarino submetidas a irrigação com águas de diferentes composições iônicas.

Em plantas de sorgo sacarino submetidas a irrigação com solução salina com concentração de 15 g L⁻¹ de NaCl (~ 250 mM => 25 dS m⁻¹) foi observado

reduções de 35% na eficiência quântica do PSII (F_v/F_m) (COELHO et al., 2011). Segundo Tezara et al. (2005) plantas que apresentarem F_v/F_m abaixo de 0,8 estão submetidas a condições estressantes e redução da eficiência quântica máxima do PSII, situação semelhante as plantas do presente estudo que apresentaram sua F_v/F_m abaixo de 0,728 (2,5 dS m⁻¹) até 0,266 (10 dS m⁻¹).

Em situações condicionantes de estresse, as plantas não demonstram alterações na fotoquímica primária do PSII, porém percebe-se a redução na eficiência quântica no transporte de elétrons (SHARMA & HALL, 1991; LU & ZHANG 1998).

O fluxo de transporte de elétrons por centro de reação apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Com o aumento dos níveis de CE o fluxo de transporte de elétrons reduziu (Figura 7). A maior redução ocorreu para a condutividade elétrica de 10 dS m⁻¹ na ordem de 45,70%, em comparação à testemunha (0 dS m⁻¹). A condutividade elétrica de 2,5 dS m⁻¹, 5 dS m⁻¹ e 7,5 dS m⁻¹ reduziram em 2,28%, 10,66% e 25,13%, respectivamente.

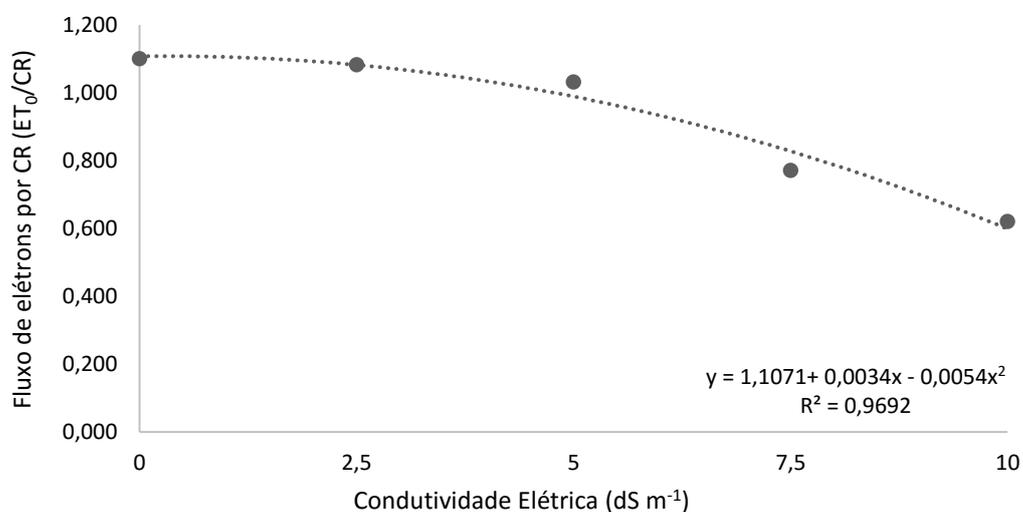


Figura 7: Fluxo de elétrons por centro de reação em plantas de sorgo sacarino submetidos a irrigação com soluções salinas aos 60 DAS.

Com níveis crescentes de concentração salina (0, 50, 100, 250 mM) foi percebida a diminuição da taxa de transporte de elétrons, na ordem de 20% e 29%, para duas variedades de sorgo irrigadas com níveis crescentes de concentração salina (0, 50, 100, 250 mM) (NETONDO et al., 2004). Tal fato pode ser atribuído aos íons que provocam efeitos deletérios nas membranas dos

tilacóides perturbando o transporte de elétrons na bicamada lipídico-proteica prejudicando a atividade do complexo (AMBEDE et al., 2012). Em estudo com plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico o fluxo de transporte de elétrons sofreu decréscimo com o aumento da severidade do estresse (ZEGADA-LIZARAZU et al., 2015).

A energia dissipada pelo centro de reação apresentou efeito significativo a 1% ($p < 0,01$) de probabilidade para os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Aos 60 DAS, foi observado que a energia dissipada pelo centro de reação aumentava com a elevação dos níveis de salinidade (Figura 8). A condutividade elétrica de 10 dS m^{-1} apresentou um acréscimo referente a 179,29% em relação a condutividade elétrica de 0 dS m^{-1} .

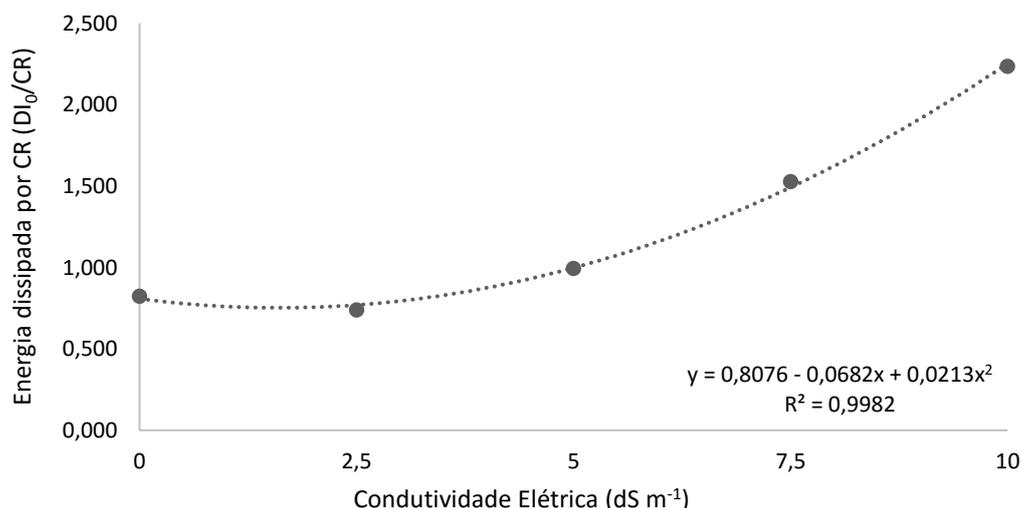


Figura 8: Energia dissipada por centro de reação em planta de sorgo sacarino ao 60 DAS irrigadas com soluções salinas com diferentes níveis de condutividade elétrica

Segundo Zegada-Lizarazu et al. (2015) a dissipação de energia em excesso é um mecanismo de liberação e regulação do fotossistema II (PSII), permitindo que haja o fechamento dos centros de reações preservando os ciclos da xantofila e luteína. Ainda nesse estudo perceberam que plantas jovens de sorgo acometidas de estresse severo aumentam a dissipação de energia de forma mais acentuada que plantas em estágio de maturação.

O rendimento quântico para a dissipação de calor (ϕD_0) apresentou interação significativa entre as fontes de sal e os níveis de condutividade elétrica

a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Aos 60 DAS, com o aumento da salinidade, observou-se que para ambas as fontes de sal houve acréscimo no φD_0 (Figura 9), exceto para a CE de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ que apresentou redução de 17,29% (NaCl) e 10,82% (Mistura de sais). Os maiores incrementos foram observados para a CE 10 dSm^{-1} (NaCl) na CE de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Mistura de sais), correspondendo a 153,07% e 125,65%, respectivamente.

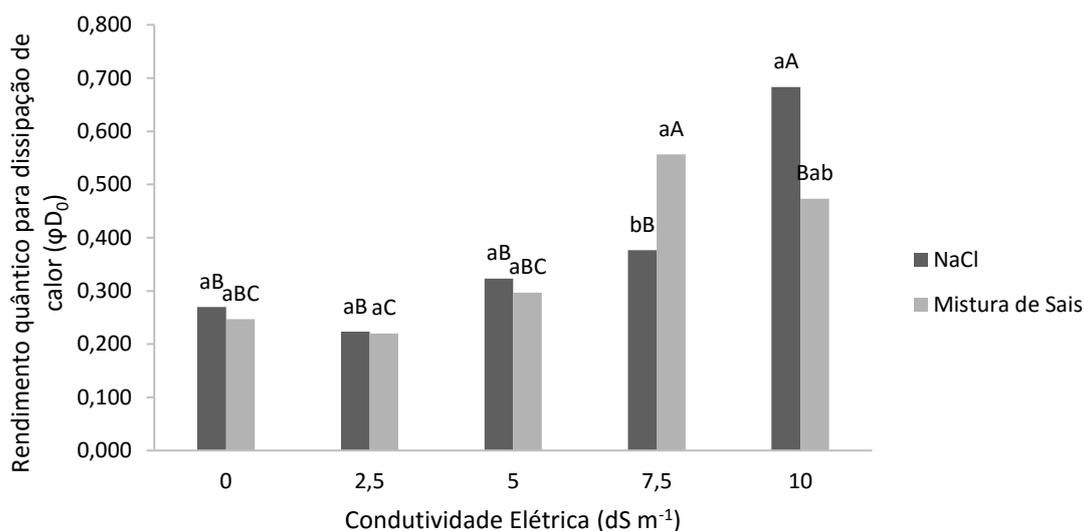


Figura 9: Rendimento quântico para dissipação de calor em plantas de sorgo sacarino aos 60 DAS irrigadas com soluções salinas com crescentes níveis condutividade elétrica. Letras iguais, minúsculas entre as fontes de água, maiúsculas entre os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3. CONCLUSÕES

- Os teores de clorofila a e b reduziram com o aumento da salinidade;
- Os carotenoides apresentaram acréscimo para as condutividades elétricas de 5 dS m⁻¹ e 10 dS m⁻¹;
- A relação entre os teores foliares de clorofila a e clorofila b apresentaram decréscimo com o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação, para ambas as fontes de água;
- A emissão da fluorescência da clorofila a sofreu modificações com o aumento da salinidade da água de irrigação;
- A intensidade da emissão da fluorescência inicial (F_0) respondeu positivamente em relação ao aumento da condutividade elétrica;
- A fluorescência máxima (F_m) e a fluorescência variável (F_v) que apresentaram redução com a elevação dos níveis de salinidade;
- A eficiência quântica do PSII (F_v/F_m) e o fluxo do transporte de elétrons por centro de reação (ET_0/CR) apresentaram redução em plantas de sorgo irrigadas com soluções salinas condutividades elétricas crescentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMBEDE, J. G. et al. NaCl salinity affects germination, growth, physiology, and biochemistry of bambara groundnut. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 24, n. 3, p. 151-160, 2012.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of experimental botany*, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

BARRETO, T. H. L. et al. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos em duas variedades de cana-de-açúcar.

CANCELLIER, E.L. et al. Eficiência agronômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.6, n.4, p.650-656, 2011.

COELHO, D. S. Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológicos de genótipos de sorgo forrageiro. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil. 2013.

COELHO, Renato et al. Efeitos da salinidade e fertilização azotada nos parâmetros hídricos e fotossintéticos na fase inicial de desenvolvimento de Sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). VI Congresso Ibérico de Agroengenharia 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Levantamento de Safras. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos>. Acesso em: 02 de junho de 2015.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Rio de Janeiro, 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. In: BDMEP – Banco Nacional de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2014. Disponível em (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: Junho de 2016

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2^ª aproximação). 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2008. 198p.

KNOX, J. Paul; DODGE, Alan D. Singlet oxygen and plants. *Phytochemistry*, v. 24, n. 5, p. 889-896, 1985.

LU, C.; ZHANG, J.. Thermostability of photosystem II is increased in salt-stressed sorghum. *Functional Plant Biology*, v. 25, n. 3, p. 317-324, 1998.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, p. F4.3.1–F4.3.8., 2001.

MATEO, A. et al. Lesion simulating disease 1 is required for acclimation to conditions that promote excess excitation energy. *Plant Physiology*, v. 136, n. 1, p. 2818-2830, 2004

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MELO, A. S. de et al. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010

MOURA, H. C. da P. et al. Teor de clorofilas a e b em folhas de plantas de sorgo cultivado na presença de alumínio. 61^a Reunião Anual da SBPC. Manaus. 2009.

MUNNS, R.; TESTER, M.. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 651-681, 2008.

MUTISYA, J. et al. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. *Journal of plant physiology*, v. 166, n. 4, p. 428-434, 2009.

MUTAVA, R. N. et al. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. *Field Crops Research*, v. 123, n. 1, p. 10-18, 2011.

NABATI, J.; KAFI, M.; ZARE MEHRJERDI, M. Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Int J Agric Sci*, v. 3, p. 483-492, 2013.

NAJAFPOUR M. Artificial Photosynthesis. In *Tech*. 2012. 288pp.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*, v. 44, n. 3, p. 797, 2004.

NEVES, L. A. S. das; SPAT, C.. Concentração de clorofila e de prolina em genótipos de arroz submetidos à salinidade. *Unimontes Científica*, v. 15, n. 1, p. 01-10, 2013.

OLIVEIRA, J. R. M. de; avaliação de novas progênies f6 de sorgo sacarino promissoras para a produção de etanol na zona da mata de Pernambuco. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil. 2014.

RENGASAMY, Pichu. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, v. 37, n. 7, p. 613-620, 2010.

RESENDE, R. S. et al. Aspectos microscópicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares do silício na interação sorgo-*Colletotrichum sublienum*. (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa. 2011

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*, v. 78, n. 2, p. 154, 1954.

SHARMA P. K.; HALL, D. O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. *Journal of Plant Physiology*, v.138, n.5, p.614-619, 1991.

SILVA, F. G. da et al. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of eggplant grown under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, M. de A. et al. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-Açúcar. *Bioscience Journal*, p. 173-181, 2014.

STRASSER, B.J; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: MATHIS, P. (Ed.). *Photosynthesis: from light to biosphere*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, p. 977- 980, 1995.

TAVAKKOLI, E. et al. Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, v. 62, n. 6, p. 2189-2203, 2011.

TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTÍNEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. *Photosynthetica*, v.43, p.37-45, 2005.

THOMAS, G. W. Exchangeable cation. In: Page A.L. et al. *Method of Soil Analysis, II. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monogram 9, Second Edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. Pp 296-301, 1982.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G. DE; BRESSANSMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v.104, p.199-209, 2005.

VIANA, M. et al. Alterações em Pigmentos e Danos em Membranas de Milho Submetido ao Déficit Hídrico. XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo. 2002.

YAMANE, K. et al. Correlation between chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence characteristics in the leaves of rice (*Oryza sativa* L.) grown under salinity. *Plant production science*, v. 11, n. 1, p. 139-145, 2008.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; LUNA, D. F.; MONTI, A. Photosynthetic acclimation of sweet sorghum under progressive water stress. *Industrial Crops and Products*, v. 66, p. 216-219, 2015.